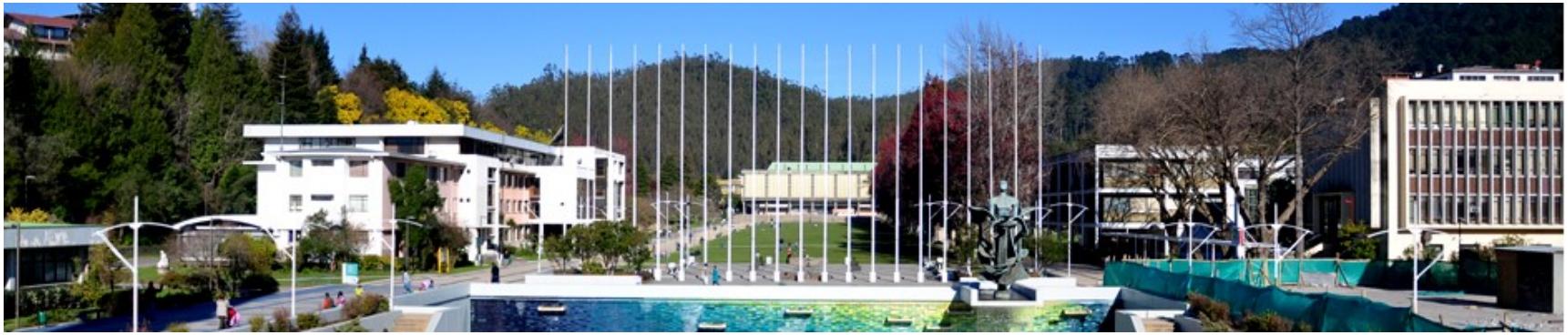
Fundamentos de Tribología



Gabriel Barrientos

06/2026

DEPARTAMENTO INGENIERIA MECANICA - UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

Cuadro 2.4: Análisis de aceite de primera generación

Propiedad	NORMA ASTM	Importancia	Cómo se determina
Viscosidad	D-445	Define el grado de viscosidad del aceite básico	Viscosímetro de flujo capilar por gravedad
Indice de viscosidad	D-2270	Define la relación entre la temperatura y la viscosidad	Variación de la visscosidadentre 40°C y 100°C,indexada
Densidad	D-1298	Define la densidad de un aceite con respectoal agua	Hidrómetro
Punto de inflamación	D-92/D-93	Define las propied. de inflamación y volatilidada altas temperaturas	Temperatura a la que se inflama la superficie
Punto de Congelación	D-97/IP15	Define el comportamiento de unaceite a bajas temperaturas	Flujo por gravedad en un recipiente de prueba temperatura a la que se alcanza una viscosidad de 22000 cSt

Viscosidad

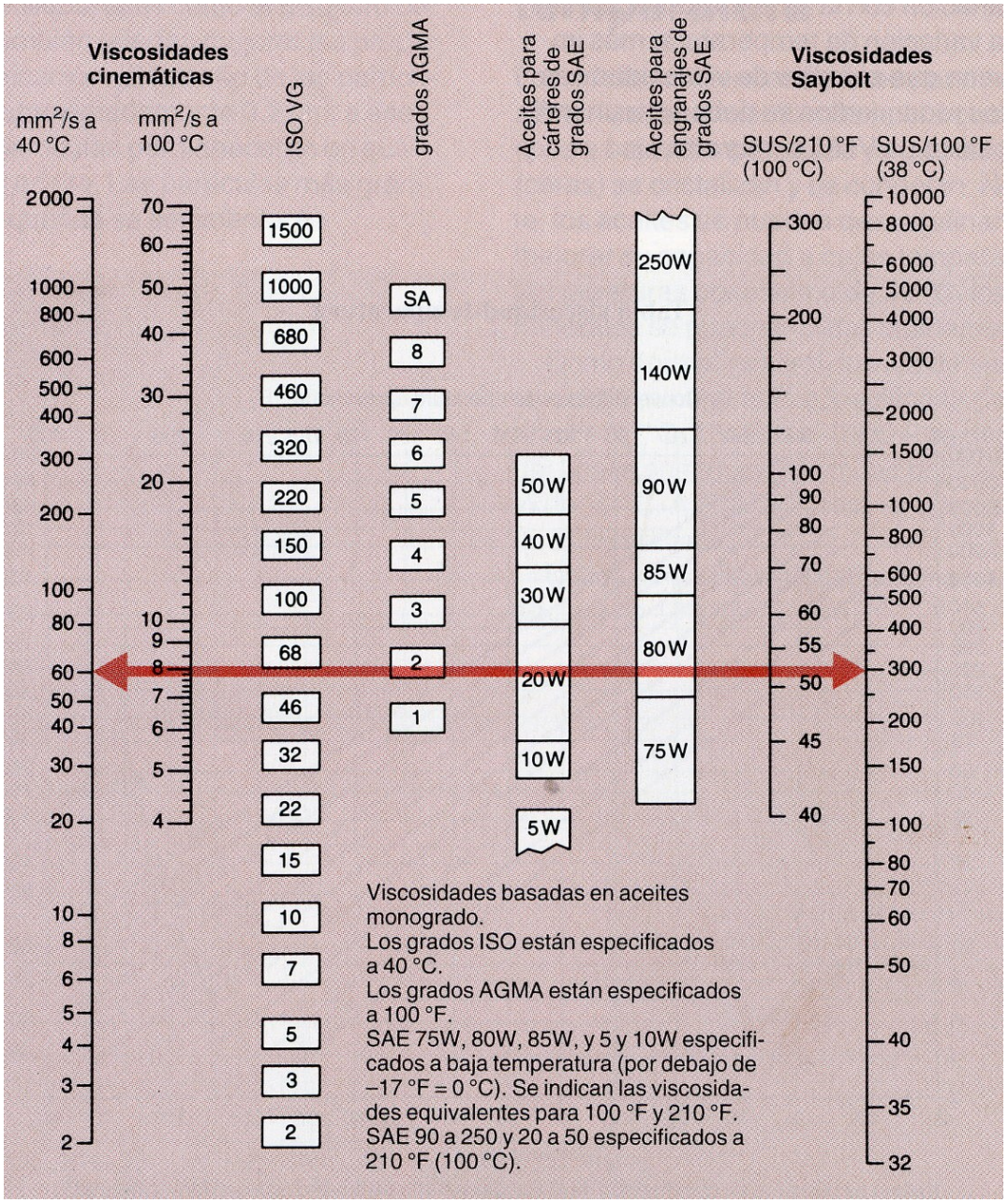
Unidades:

- **Dinámica o Absoluta :** Resistencia del aceite a fluir y al corte por la fuerza de gravedad.

  $\mu = \upsilon \times \rho$ (Centipoise)

- **Cinemática :** Resistencia del aceite a fluir y al corte

  $\upsilon = \mu / \rho$ (Centistoke), (SSU), (mm^2/s), (Engler)


Viscosidades cinemáticas
mm²/s a 40 °C
mm²/s a 100 °C
ISO VG
grados AGMA
Aceites para cárteres de grados SAE
Aceites para engranajes de grados SAE
Viscosidades Saybolt
SUS/210 °F (100 °C)
SUS/100 °F (38 °C)
2000 1000 800 600 500 400 300 200 100 80 60 50 40 30 20 10 8 6 5 4 3 2
70 60 50 40 30 20 10 9 8 7 6 5 4
1500 1000 680 460 320 220 150 100 68 46 32 22 15 10 7 5 3 2
SA 8 7 6 5 4 3 2 1
50W 40W 30W 20W 10W 5W
250W 140W 90W 85W 80W 75W
300 200 100 90 80 70 60 55 50 45 40
10000 8000 6000 5000 4000 3000 2000 1500 1000 800 600 500 400 300 200 150 100 80 70 60 50 40 35 32
Viscosidades basadas en aceites monogrado.
Los grados ISO están especificados a 40 °C.
Los grados AGMA están especificados a 100 °F.
SAE 75W, 80W, 85W, y 5 y 10W especificados a baja temperatura (por debajo de –17 °F = 0 °C). Se indican las viscosidades equivalentes para 100 °F y 210 °F.
SAE 90 a 250 y 20 a 50 especificados a 210 °F (100 °C).

Clase de viscosidad de acuerdo con ISO	Viscosidad cinemática mm^2/s a 40 °C valor medio	mín	máx
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6

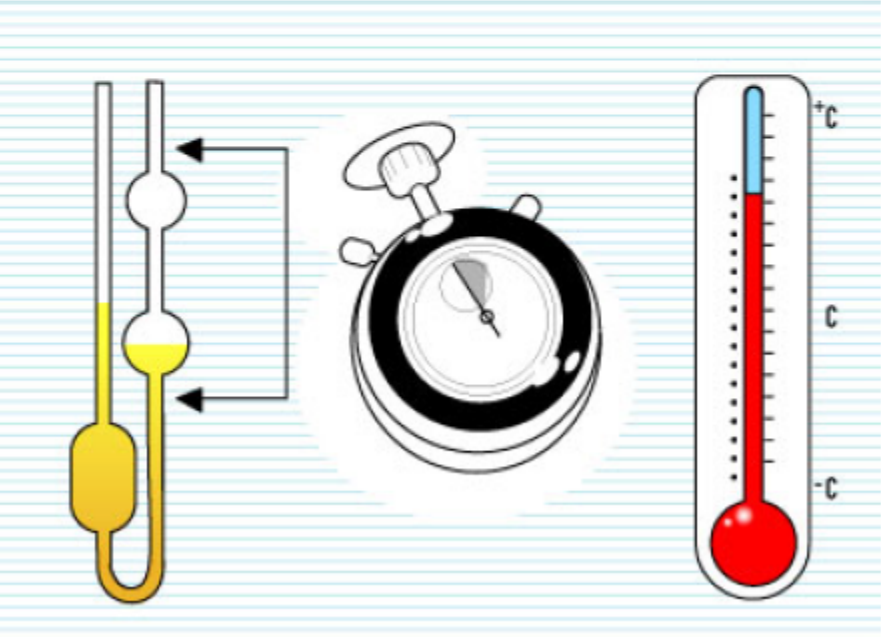
Clase de viscosidad de acuerdo con ISO	Viscosidad cinemática mm^2/s a 40 °C valor medio	mín	máx
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

Viscosidad

Normas:

ASTM D-88 @ 100 ^{o}F – 210 ^{o}F (SSU)

ASTM D-445 @ 40 ^{o}C – 100 ^{o}C (cSt)



Teste de Viscosidade em Laboratório

Propiedades de los lubricantes

2.1. Viscosidad del aceite

2.1.1. Viscosidad dinámica

2.1.2. Viscosidad cinemática

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

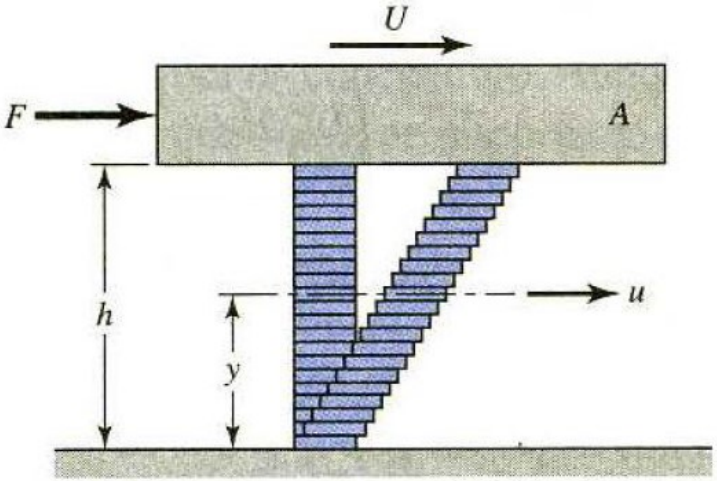
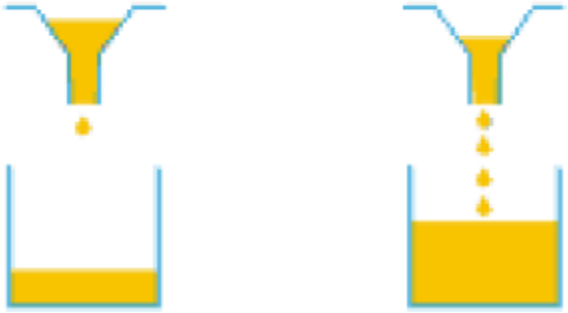


Figura 2.1: Deslizamiento de capas en un fluído [3]

VISCOSIDAD

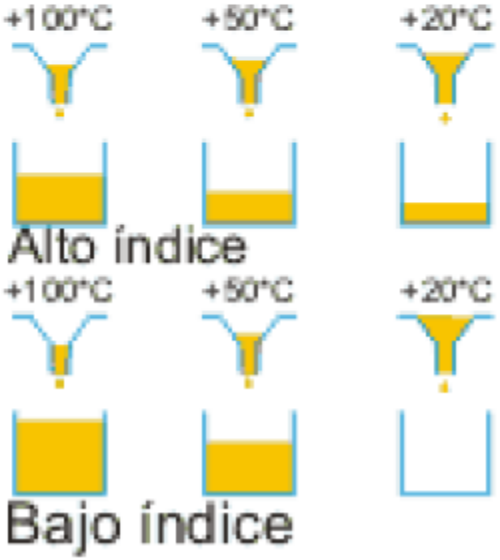
* El aceite al escurrir, encuentra una resistencia que se define como viscosidad o resistencia a fluir.

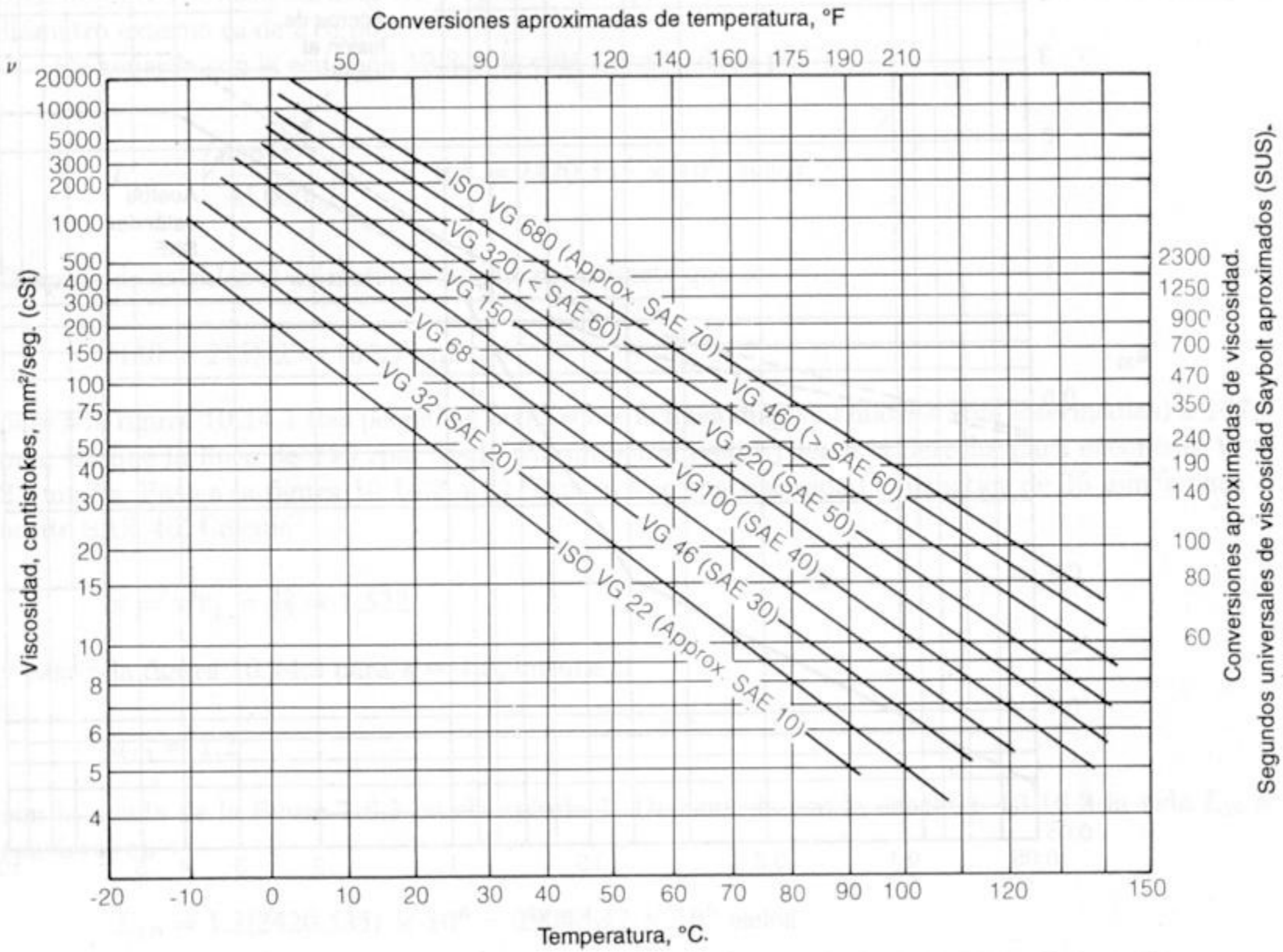
En igual tiempo



VISCOSIDAD

* El índice de viscosidad es un valor numérico, indicativo de la variación de la viscosidad con respecto de la temperatura.
* Cuanto más alto es el índice, más estable es la viscosidad del aceite.




Conversiones aproximadas de temperatura, °F
50
90
120
140
160
175
190
210
ν
20000
10000
5000
3000
2000
1000
500
400
300
200
150
100
75
50
40
30
20
15
10
8
6
5
4
Viscosidad, centistokes, mm²/seg. (cSt)
ISO VG 680 (Approx. SAE 70)
VG 320 (< SAE 60)
VG 150
VG 68
VG 32 (SAE 20)
ISO VG 22 (Approx. SAE 10)
VG 460 (> SAE 60)
VG 220 (SAE 50)
VG100 (SAE 40)
VG 46 (SAE 30)
2300
1250
900
700
470
350
240
190
140
100
80
60
Conversiones aproximadas de viscosidad.
Segundos universales de viscosidad Saybolt aproximados (SUS).
-20
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
120
150
Temperatura, °C.

Viscosímetros de sitio

Louis C. Eitzen Co.

Kittiwake.

COMPARATIVO

DIGITAL

Causa de incremento o decremento de la VISCOSIDAD

- Medición a 40ºC y 100ºC.
- La viscosidad se compara con el del aceite nuevo para determinar si ha ocurrido un incremento o disminución en su valor.
- El índice de viscosidad IV

CAUSA

ALTA VISCOSIDAD:

- Contaminación con hollín.
- Combustión incompleta.
- Degradación por oxidación.
- Periodo de cambio extendido.
- Temperatura de operación alta.
- Grado de aceite inadecuado.
- Emulsión con agua.

BAJA VISCOSIDAD:

- Perdida o disminución del IV.
- Dilución por combustible.
- Corte del aditivo.
- Grado de aceite inadecuado.

INDICE DE VISCOSIDAD

Magnitud adimensional que relaciona la viscosidad en función de la temperatura.

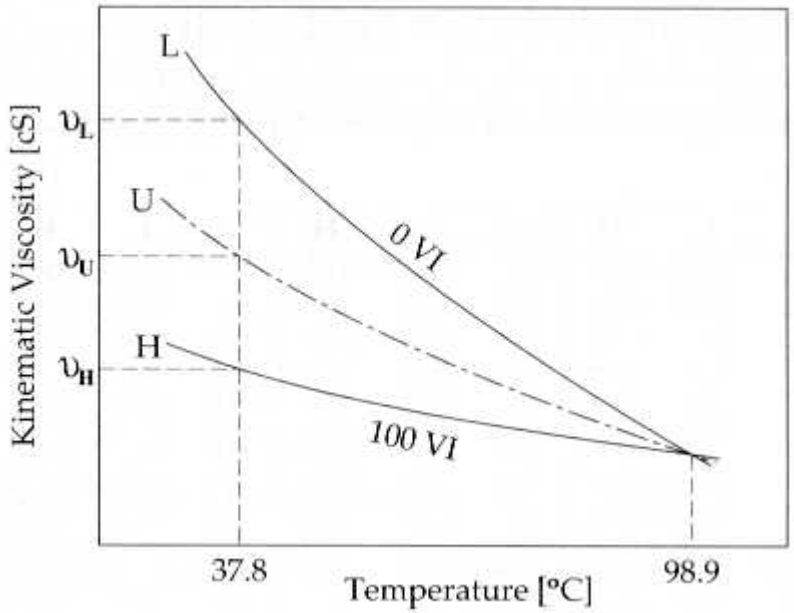
Si existe incremento o decremento puede ser debido a contaminación con otro producto.

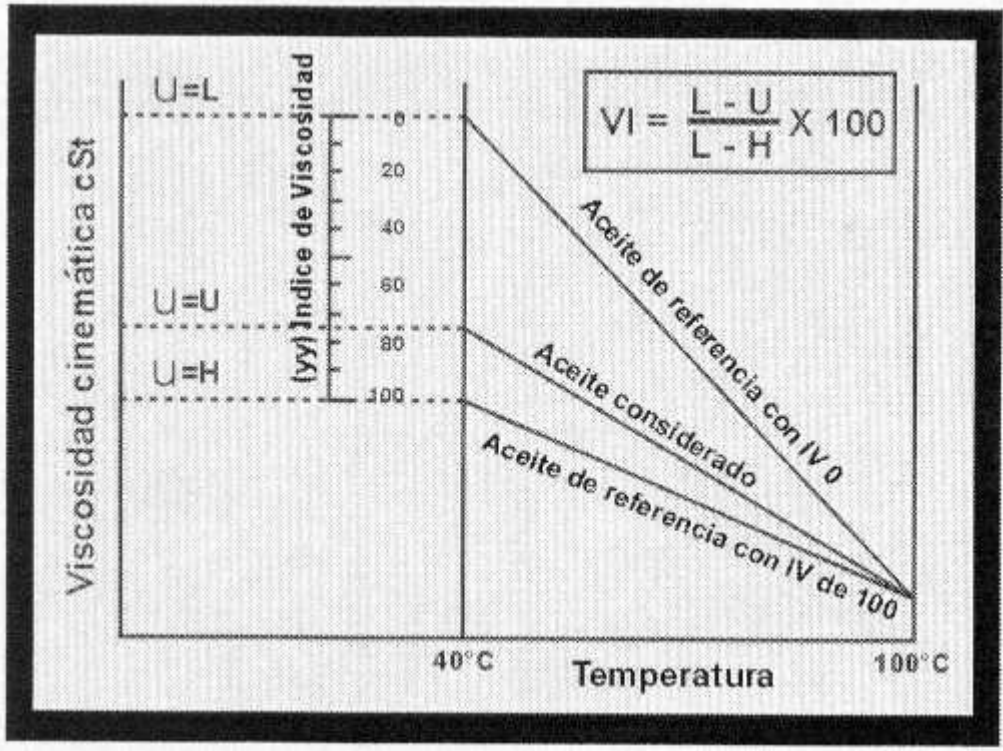
Método ASTM D- 2270

IV : es la medida que expresa la forma en la cual la viscosidad varia con respecto a la temperatura.

- IV > 80 (aceites con alto índice de viscosidad).
- IV 60-80 (mediano índice de viscosidad).
- IV < 60 (bajo índice de viscosidad).

INDICE DE VISCOSIDAD : VI





VI

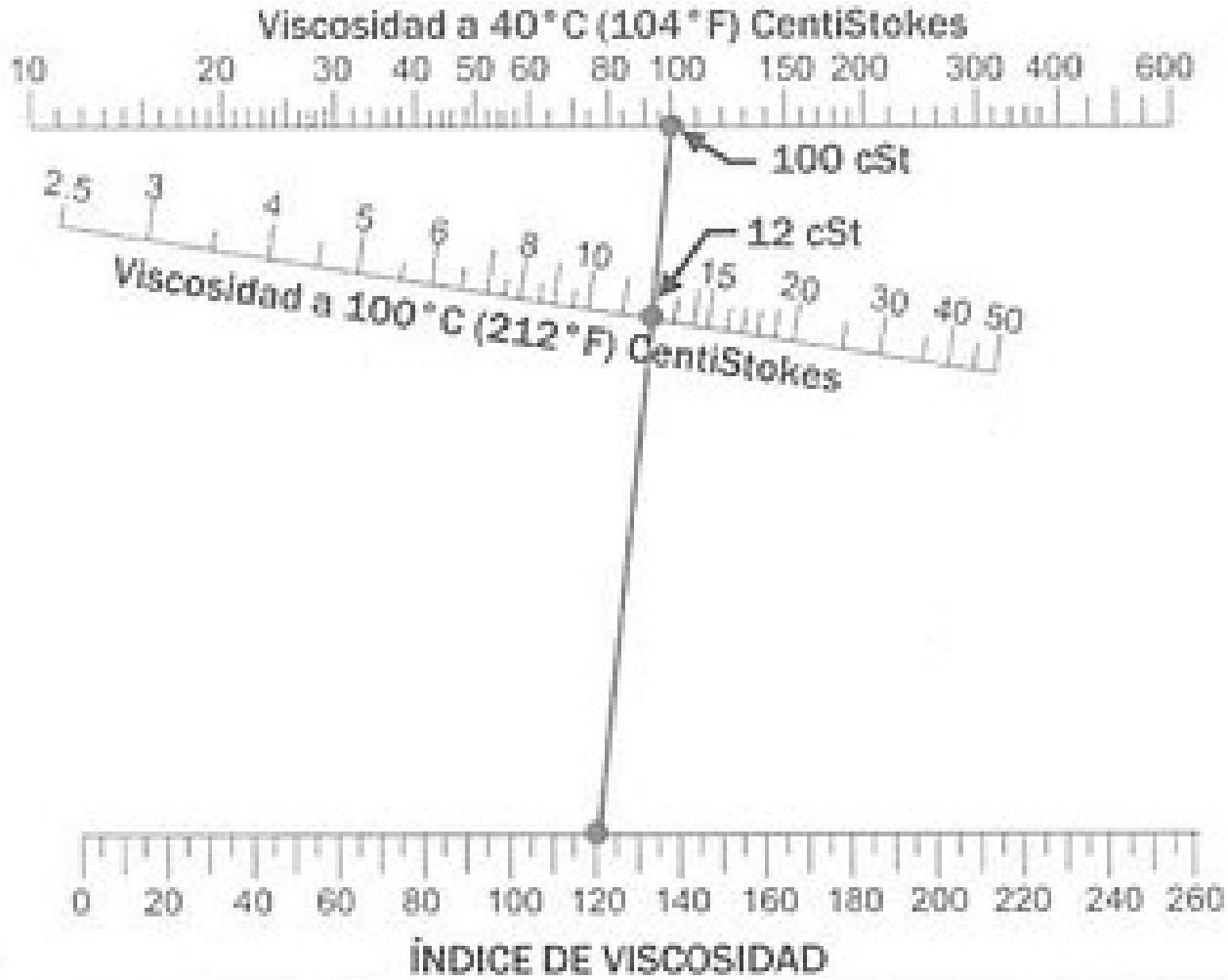
υ_{100}	L	H	υ_{100}	L	H	υ_{100}	L	H	υ_{100}	L	H	υ_{100}	L	H
2.00	7.994	6.394	8.30	106.9	63.05	14.6	283.0	143.9	21.8	575.6	261.5	41.0	1810	676.6
2.10	8.640	6.894	8.40	109.2	64.18	14.7	286.4	145.3	22.0	585.2	264.9	41.5	1851	689.1
2.20	9.309	7.410	8.50	111.5	65.32	14.8	289.7	146.8	22.2	595.0	268.6	42.0	1892	701.9
2.30	10.00	7.944	8.60	113.9	66.48	14.9	293.0	148.2	22.4	604.3	272.3	42.5	1935	714.9
2.40	10.71	8.496	8.70	116.2	67.64	15.0	296.5	149.7	22.6	614.2	275.8	43.0	1978	728.2
2.50	11.45	9.063	8.80	118.5	68.79	15.1	300.0	151.2	22.8	624.1	279.6	43.5	2021	741.3
2.60	12.21	9.647	8.90	120.9	69.94	15.2	303.4	152.6	23.0	633.6	283.3	44.0	2064	754.4
2.70	13.00	10.25	9.00	123.3	71.10	15.3	306.9	154.1	23.2	643.4	286.8	44.5	2108	767.6
2.80	13.80	10.87	9.10	125.7	72.27	15.4	310.3	155.6	23.4	653.8	290.5	45.0	2152	780.9
2.90	14.63	11.50	9.20	128.0	73.42	15.5	313.9	157.0	23.6	663.3	294.4	45.5	2197	794.5
3.00	15.49	12.15	9.30	130.4	74.57	15.6	317.5	158.6	23.8	673.7	297.9	46.0	2243	808.2
3.10	16.36	12.82	9.40	132.8	75.73	15.7	321.1	160.1	24.0	683.9	301.8	46.5	2288	821.9
3.20	17.26	13.51	9.50	135.3	76.91	15.8	324.6	161.6	24.2	694.5	305.6	47.0	2333	835.5
3.30	18.18	14.21	9.60	137.7	78.08	15.9	328.3	163.1	24.4	704.2	309.4	47.5	2380	849.2
3.40	19.12	14.93	9.70	140.1	79.27	16.0	331.9	164.6	24.6	714.9	313.0	48.0	2426	863.0
3.50	20.09	15.66	9.80	142.7	80.46	16.1	335.5	166.1	24.8	725.7	317.0	48.5	2473	876.9
3.60	21.08	16.42	9.90	145.2	81.67	16.2	339.2	167.7	25.0	736.5	320.9	49.0	2521	890.9
3.70	22.09	17.19	10.0	147.7	82.87	16.3	342.9	169.2	25.2	747.2	324.9	49.5	2570	905.3
3.80	23.13	17.97	10.1	150.3	84.08	16.4	346.6	170.7	25.4	758.2	328.8	50.0	2618	919.6
3.90	24.19	18.77	10.2	152.9	85.30	16.5	350.3	172.3	25.6	769.3	332.7	50.5	2667	933.6
4.00	25.32	19.56	10.3	155.4	86.51	16.6	354.1	173.8	25.8	779.7	336.7	51.0	2717	948.2
4.10	26.50	20.37	10.4	158.0	87.72	16.7	358.0	175.4	26.0	790.4	340.5	51.5	2767	962.9
4.20	27.75	21.21	10.5	160.6	88.95	16.8	361.7	177.0	26.2	801.6	344.4	52.0	2817	977.5
4.30	29.07	22.05	10.6	163.2	90.19	16.9	365.6	178.6	26.4	812.8	348.4	52.5	2867	992.1
4.40	30.48	22.92	10.7	165.8	91.40	17.0	369.4	180.2	26.6	824.1	352.3	53.0	2918	1007
4.50	31.96	23.81	10.8	168.5	92.65	17.1	373.3	181.7	26.8	835.5	356.4	53.5	2969	1021
4.60	33.52	24.71	10.9	171.2	93.92	17.2	377.1	183.3	27.0	847.0	360.5	54.0	3020	1036
4.70	35.13	25.63	11.0	173.9	95.19	17.3	381.0	184.9	27.2	857.5	364.6	54.5	3073	1051
4.80	36.79	26.57	11.1	176.6	96.45	17.4	384.9	186.5	27.4	869.0	368.3	55.0	3126	1066
4.90	38.50	27.53	11.2	179.4	97.71	17.5	388.9	188.1	27.6	880.6	372.3	55.5	3180	1082
5.00	40.23	28.49	11.3	182.1	98.97	17.6	392.7	189.7	27.8	892.3	376.4	56.0	3233	1097
5.10	41.99	29.46	11.4	184.9	100.2	17.7	396.7	191.3	28.0	904.1	380.6	56.5	3286	1112
5.20	43.76	30.43	11.5	187.6	101.5	17.8	400.7	192.9	28.2	915.8	384.6	57.0	3340	1127
5.30	45.53	31.40	11.6	190.4	102.8	17.9	404.6	194.6	28.4	927.6	388.8	57.5	3396	1143
5.40	47.31	32.37	11.7	193.3	104.1	18.0	408.6	196.2	28.6	938.6	393.0	58.0	3452	1159
5.50	49.09	33.34	11.8	196.2	105.4	18.1	412.6	197.8	28.8	951.2	396.6	58.5	3507	1175
5.60	50.87	34.32	11.9	199.0	106.7	18.2	416.7	199.4	23.0	963.4	401.1	59.0	3563	1190
5.70	52.64	35.29	12.0	201.9	108.0	18.3	420.7	201.0	29.2	975.4	405.3	59.5	3619	1206
5.80	54.42	36.26	12.1	204.8	109.4	18.4	424.9	202.6	29.4	987.1	409.5	60.0	3676	1222
5.90	56.20	37.23	12.2	207.8	110.7	18.5	429.0	204.3	29.6	998.9	413.5	60.5	3734	1238
6.00	57.97	38.19	12.3	210.7	112.0	18.6	433.2	205.9	29.8	1011	417.6	61.0	3792	1254
6.10	59.74	39.17	12.4	213.6	113.3	18.7	437.3	207.6	30.0	1023	421.7	61.5	3850	1270
6.20	61.52	40.15	12.5	216.6	114.7	18.8	441.5	209.3	30.5	1055	432.4	62.0	3908	1286
6.30	63.32	41.13	12.6	219.6	116.0	18.9	445.7	211.0	31.0	1086	443.2	62.5	3966	1303
6.40	65.18	42.14	12.7	222.6	117.4	19.0	449.9	212.7	31.5	1119	454.0	63.0	4026	1319
6.50	67.12	43.18	12.8	225.7	118.7	19.1	454.2	214.4	32.0	1151	464.9	63.5	4087	1336
6.60	69.16	44.24	12.9	228.8	120.1	19.2	458.4	216.1	32.5	1184	475.9	64.0	4147	1352
6.70	71.29	45.33	13.0	231.9	121.5	19.3	462.7	217.7	33.0	1217	487.0	64.5	4207	1369
6.80	73.48	46.44	13.1	235.0	122.9	19.4	467.0	219.4	33.5	1251	498.1	65.0	4268	1386
6.90	75.72	47.51	13.2	238.1	124.2	19.5	471.3	221.1	34.0	1286	509.6	65.5	4329	1402
7.00	78.00	48.57	13.3	241.2	125.6	19.6	475.7	222.8	34.5	1321	521.1	66.0	4392	1419
7.10	80.25	49.61	13.4	244.3	127.0	19.7	479.7	224.5	35.0	1356	532.5	66.5	4455	1436
7.20	82.39	50.69	13.5	247.4	128.4	19.8	483.9	226.2	35.5	1391	544.0	67.0	4517	1454
7.30	84.53	51.78	13.6	250.6	129.8	19.9	488.6	227.7	36.0	1427	555.6	67.5	4580	1471
7.40	86.66	52.88	13.7	253.8	131.2	20.0	493.2	229.5	36.5	1464	567.1	68.0	4645	1488
7.50	88.85	53.98	13.8	257.0	132.6	20.2	501.5	233.0	37.0	1501	579.3	68.5	4709	1506
7.60	91.04	55.09	13.9	260.1	134.0	20.4	510.8	236.4	37.5	1538	591.3	69.0	4773	1523
7.70	93.20	56.20	14.0	263.3	135.4	20.6	519.9	240.1	38.0	1575	603.1	69.5	4839	1541
7.80	95.43	57.31	14.1	266.6	136.8	20.8	528.8	243.5	38.5	1613	615.0	70.0	4905	1558
7.90	97.72	58.45	14.2	269.8	138.2	21.0	538.4	247.1	39.0	1651	627.1			
8.00	100.0	59.60	14.3	273.0	139.6	21.2	547.5	250.7	39.5	1691	639.2			
8.10	102.3	60.74	14.4	276.3	141.0	21.4	556.7	254.2	40.0	1730	651.8			
8.20	104.6	61.89	14.5	279.6	142.4	21.6	566.4	257.8	40.5	1770	664.2			

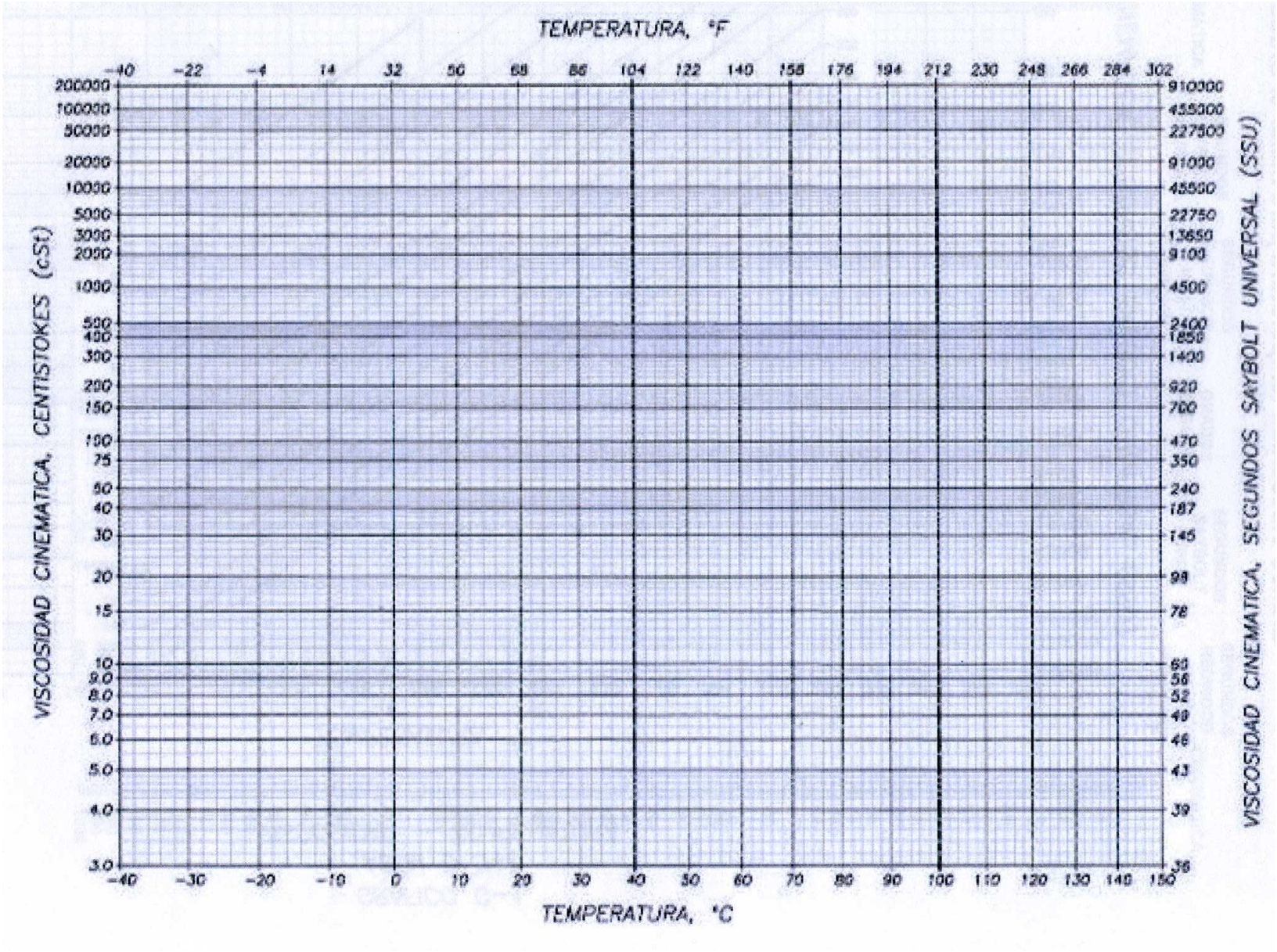
Cuadro 2.1: Estableciendo límites en los cambios de viscosidad

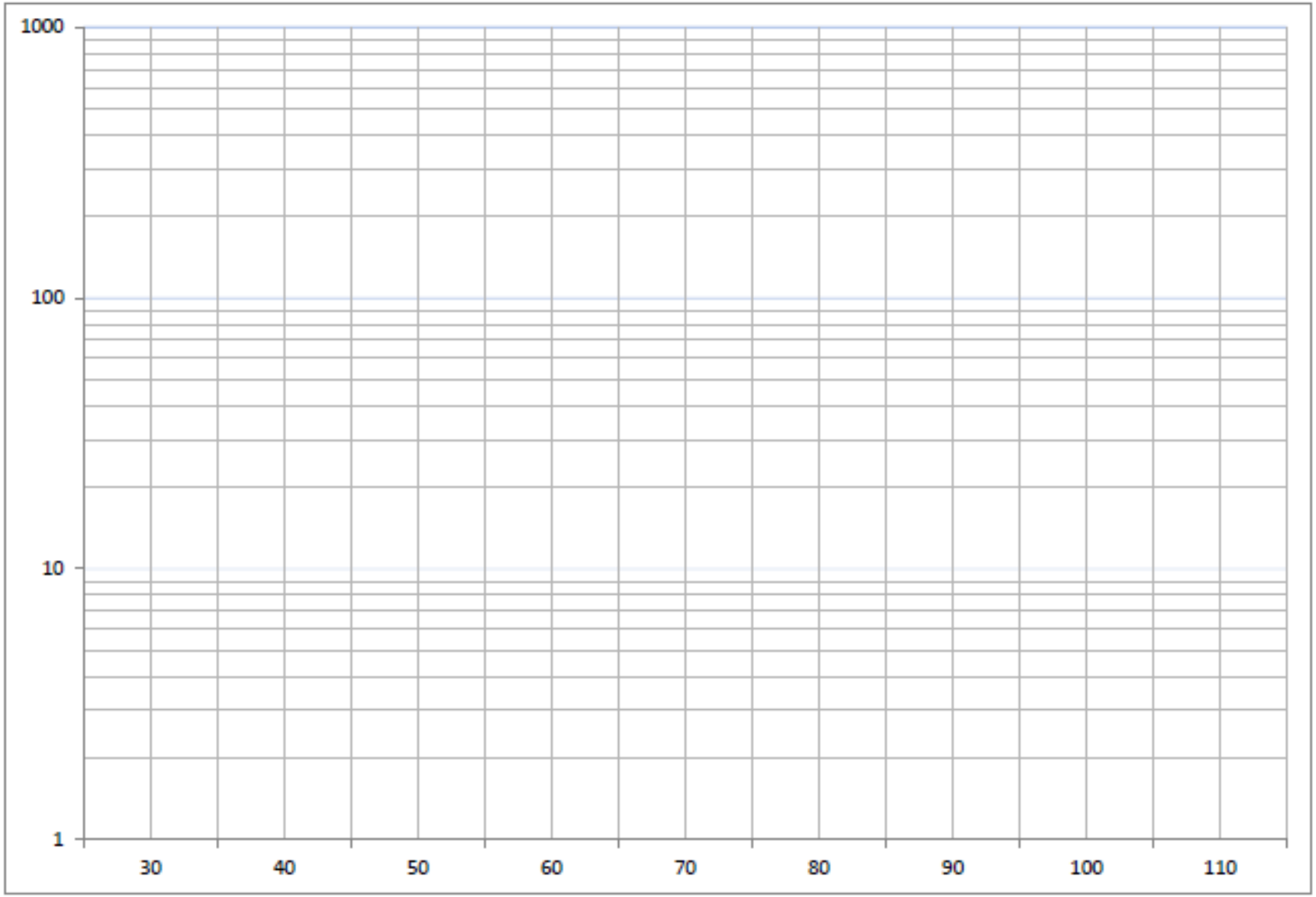
Límite	Aceites de motor	Aceites industriales	Aceites industriales en ambientes severos
Crítico (superior)	+20 %	+10 %	+ 7 %
Precaución (superior)	+10 %	+5 %	+ 4 %
Precaución (inferior)	- 5 %	- 5 %	- 5 %
Crítico (inferior)	-10 %	-10 %	-10 %

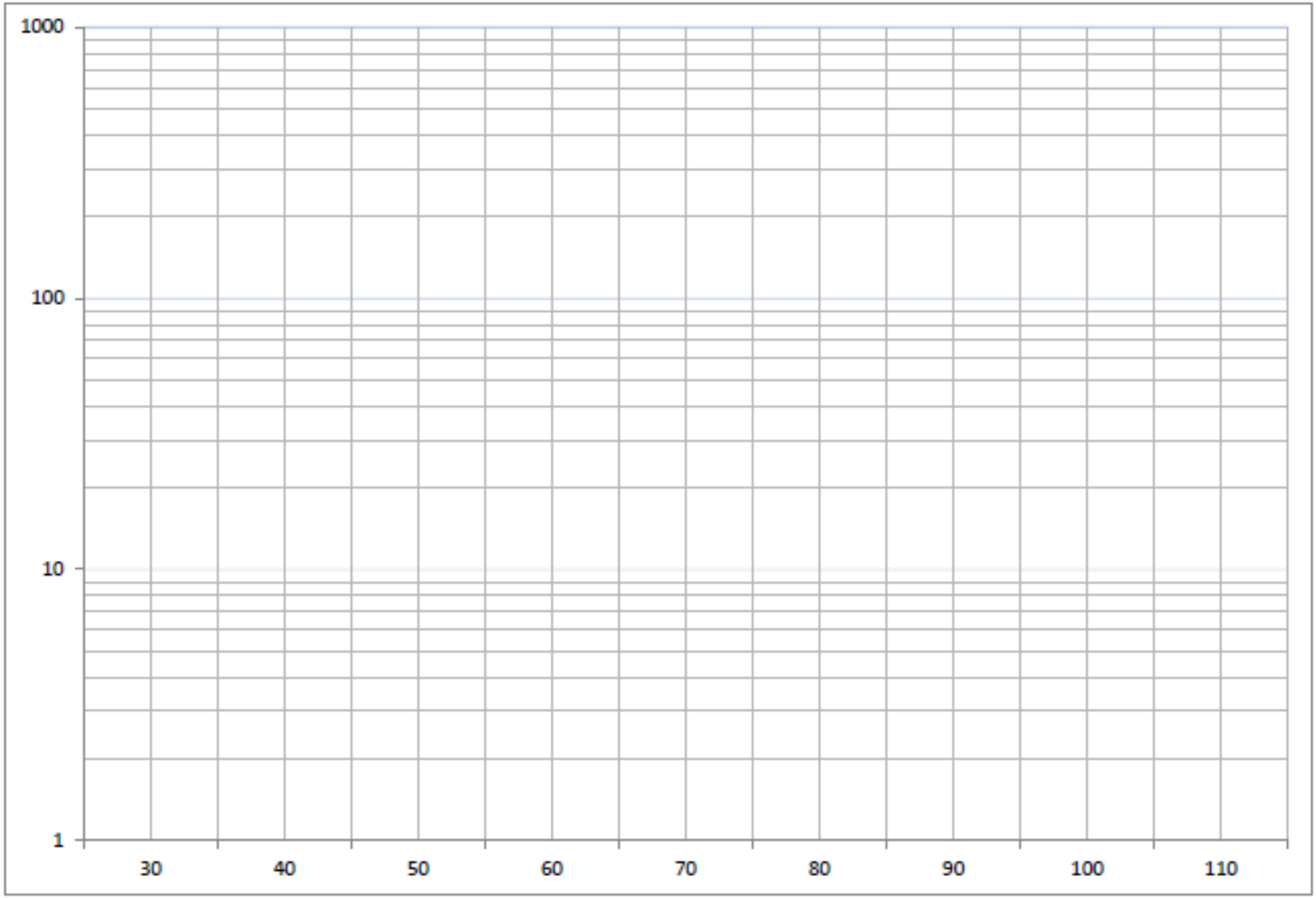
ASTM D2270

El índice de viscosidad de un aceite se determina experimentalmente midiendo la viscosidad a 40 °C y 100 °C.




TEMPERATURA, °F
-40 -22 -4 14 32 50 68 86 104 122 140 158 176 194 212 230 248 266 284 302
VISCOSIDAD CINEMATICA, CENTISTOKES (cSt)
200000 100000 50000 20000 10000 5000 3000 2000 1000 500 400 300 200 150 100 75 50 40 30 20 15 10 9.0 8.0 7.0 6.0 5.0 4.0 3.0
VISCOSIDAD CINEMATICA, SEGUNDOS SAYBOLT UNIVERSAL (SSU)
910000 455000 227500 91000 45500 22750 13650 9100 4500 2400 1850 1400 920 700 470 350 240 187 145 98 78 60 56 52 49 46 43 39 36
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150
TEMPERATURA, °C


1000
100
10
1
30
40
50
60
70
80
90
100
110


1000
100
10
1
30
40
50
60
70
80
90
100
110

EJEMPLOS

2.1.6. Mezcla de viscosidad

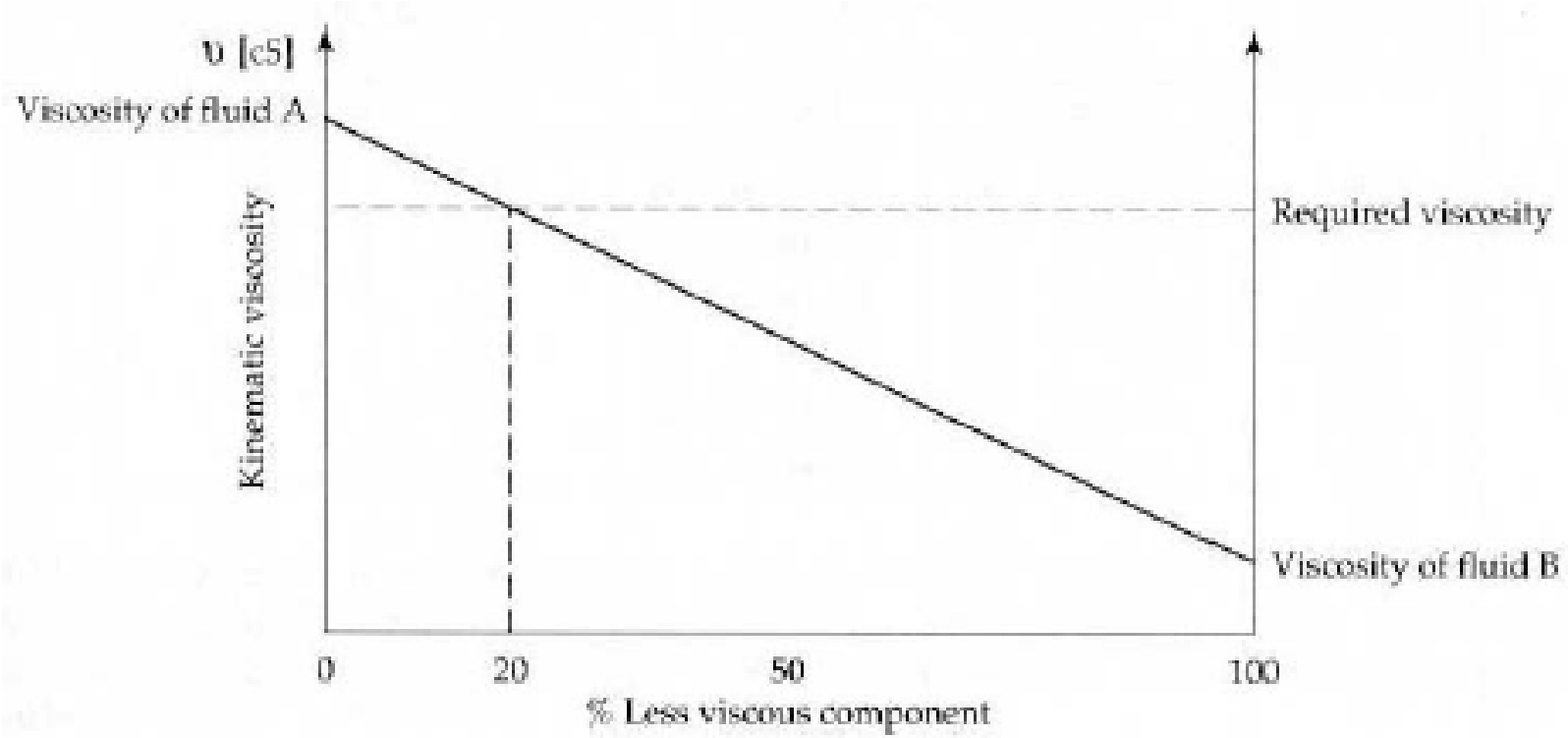
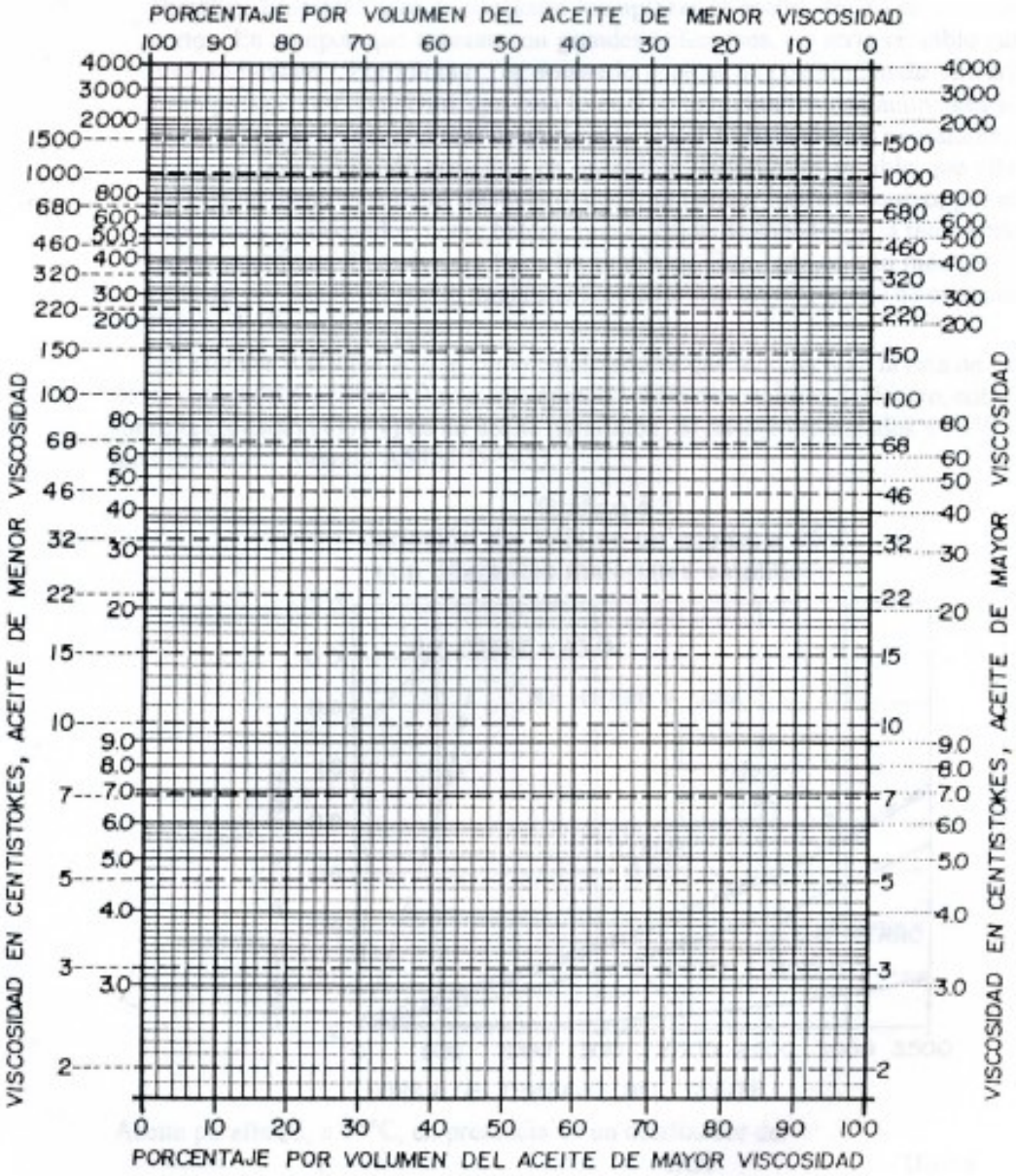
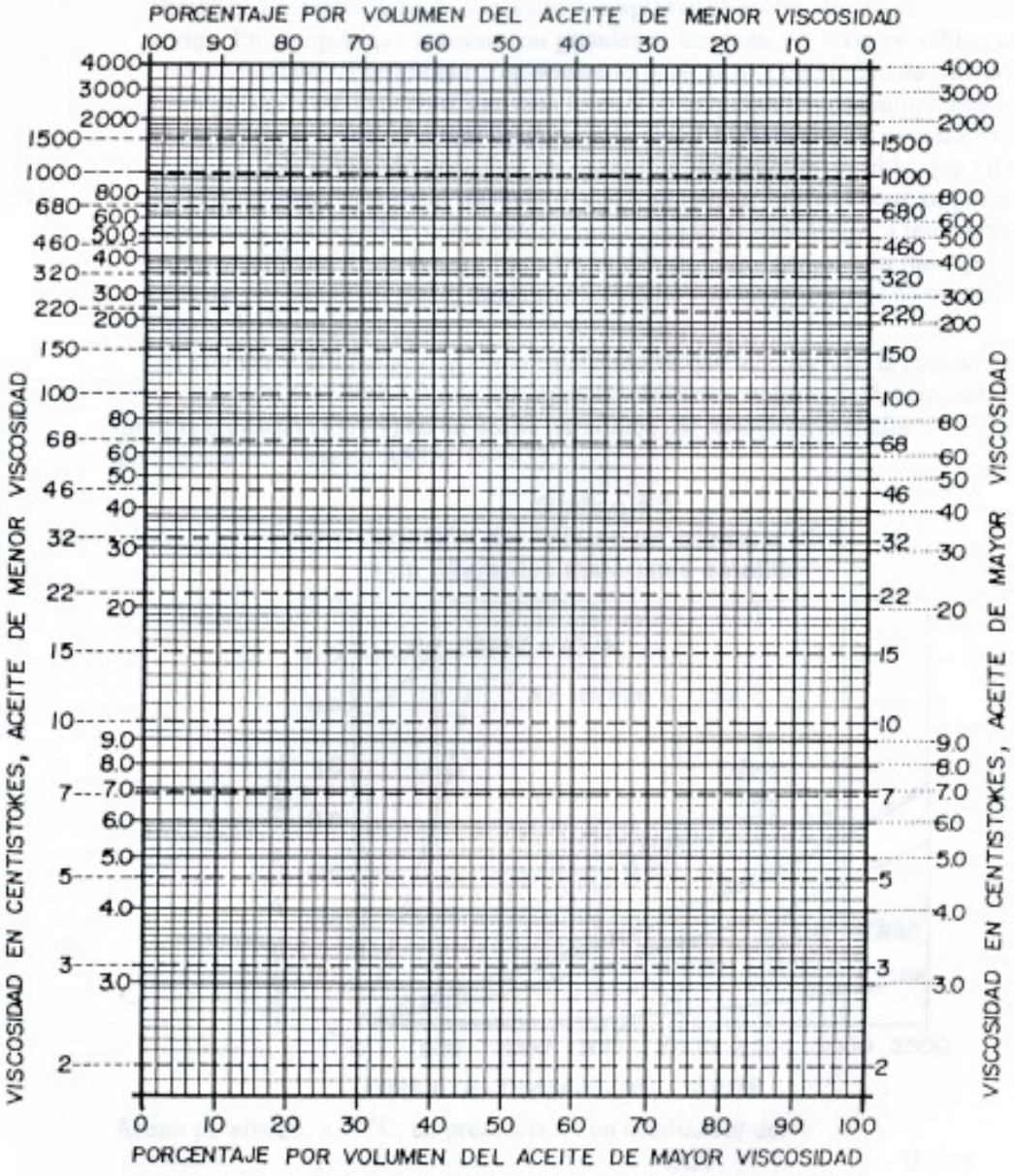
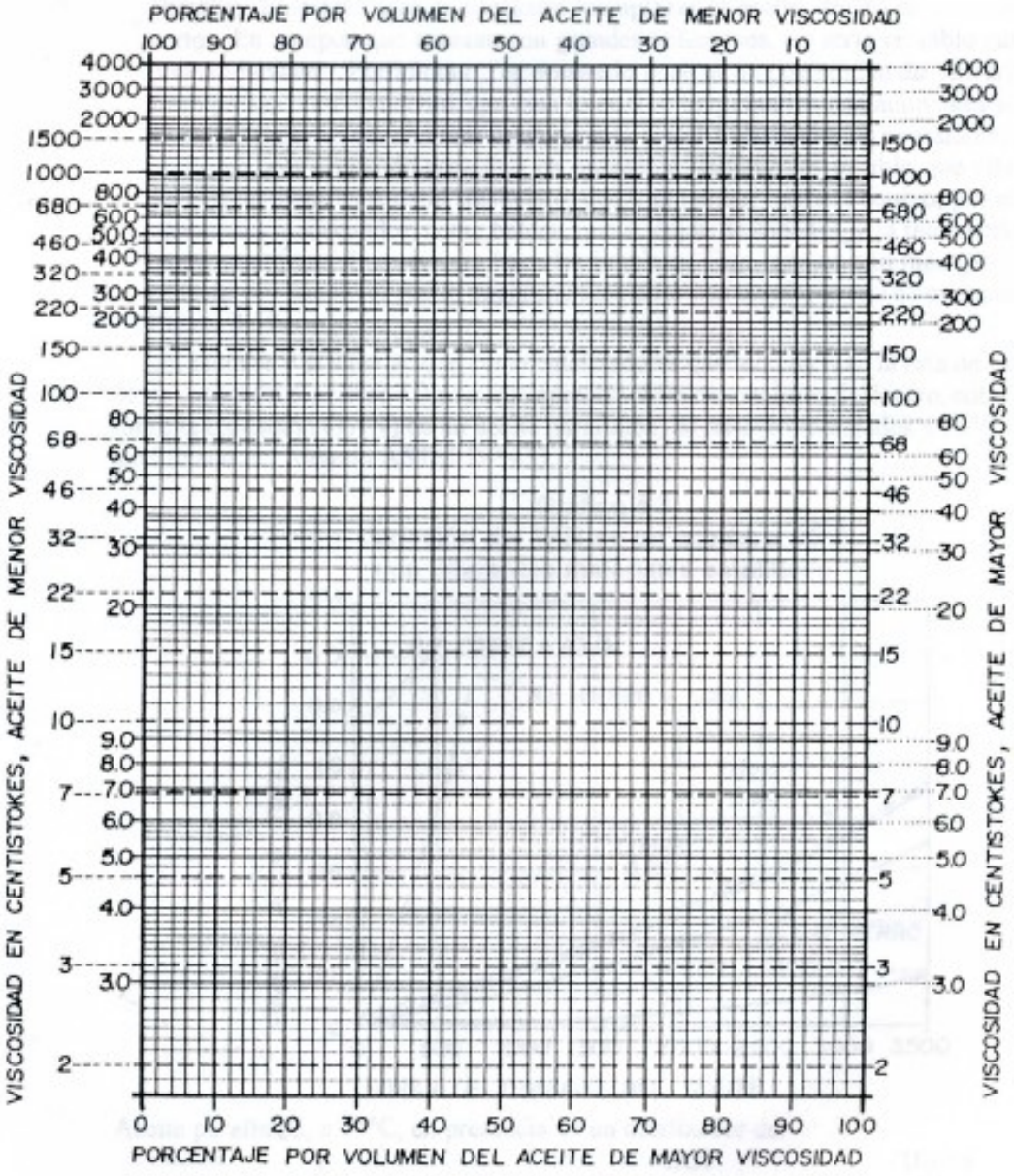


Figura 2.14: Mezcla de aceites


PORCENTAJE POR VOLUMEN DEL ACEITE DE MENOR VISCOSIDAD
100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0
VISCOSIDAD EN CENTISTOKES, ACEITE DE MENOR VISCOSIDAD
4000 3000 2000 1500 1000 800 680 600 500 460 400 320 300 220 200 150 100 80 68 60 50 46 40 32 30 22 20 15 10 9.0 8.0 7 7.0 6.0 5.0 5 4.0 3 3.0 2
VISCOSIDAD EN CENTISTOKES, ACEITE DE MAYOR VISCOSIDAD
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
PORCENTAJE POR VOLUMEN DEL ACEITE DE MAYOR VISCOSIDAD


PORCENTAJE POR VOLUMEN DEL ACEITE DE MENOR VISCOSIDAD
100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0
4000 3000 2000 1500 1000 800 680 600 500 460 400 320 300 220 200 150 100 80 68 60 50 46 40 32 30 22 20 15 10 9.0 8.0 7 7.0 6.0 5.0 5 4.0 3 3.0 2
VISCOSIDAD EN CENTISTOKES, ACEITE DE MENOR VISCOSIDAD
VISCOSIDAD EN CENTISTOKES, ACEITE DE MAYOR VISCOSIDAD
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
PORCENTAJE POR VOLUMEN DEL ACEITE DE MAYOR VISCOSIDAD


PORCENTAJE POR VOLUMEN DEL ACEITE DE MENOR VISCOSIDAD
100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0
4000 3000 2000 1500 1000 800 680 600 500 460 400 320 300 220 200 150 100 80 68 60 50 46 40 32 30 22 20 15 10 9.0 8.0 7 7.0 6.0 5.0 5 4.0 3 3.0 2
VISCOSIDAD EN CENTISTOKES, ACEITE DE MENOR VISCOSIDAD
VISCOSIDAD EN CENTISTOKES, ACEITE DE MAYOR VISCOSIDAD
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
PORCENTAJE POR VOLUMEN DEL ACEITE DE MAYOR VISCOSIDAD

Características Típicas.

CARACTERISTICAS	Metodo ASTM	Valores Tipicos	
Grado SAE		15W-40	20W-50
Apariencia	Visual	Clara y Brillante	Clara y Brillante
Viscosidad @ 100 °C, cSt.	D 445	15.0	19.0
Viscosidad @ 40°C, cSt	D 445	109.0	160
Viscosidad CCS, cP a -20 °C	D 5293	6,300	9,000
Índice de Viscosidad	D 2270	130	125
TBN, mg KOH/g	D 2896	9.5	9.5
Cenizas Sulfatadas, % en peso	D 874	0.98	0.98
Punto de Inflamación, °C	D 92	220	236
Punto Mínimo de Fluidez, °C	D 97	-24	-18
Gravedad Específica @ 15.6 °C	D 4052	0.8850	0.8950

Table 12-1
Relative Cost of Vegetable and Synthetic Oils

Lubricant	Relative Cost to Mineral Oil[1]
Vegetable Oils[1]	2 - 3
Synthetic Fluids[2]	
Polybutenes	2
Polyalphaolefins	3
Dialkylbenzene	5
Polyalkyline glycols	3 - 5
Polyol esters	3 - 5
Diesters	2 - 6
Phosphate esters	4 - 7
Cycloaliphatics	9 - 15
Silicone fluids	12 - 24
Silicate esters	33 - 45
Halogenated hydrocarbons	100 - 450
Polyphenyl ethers	625 - 700

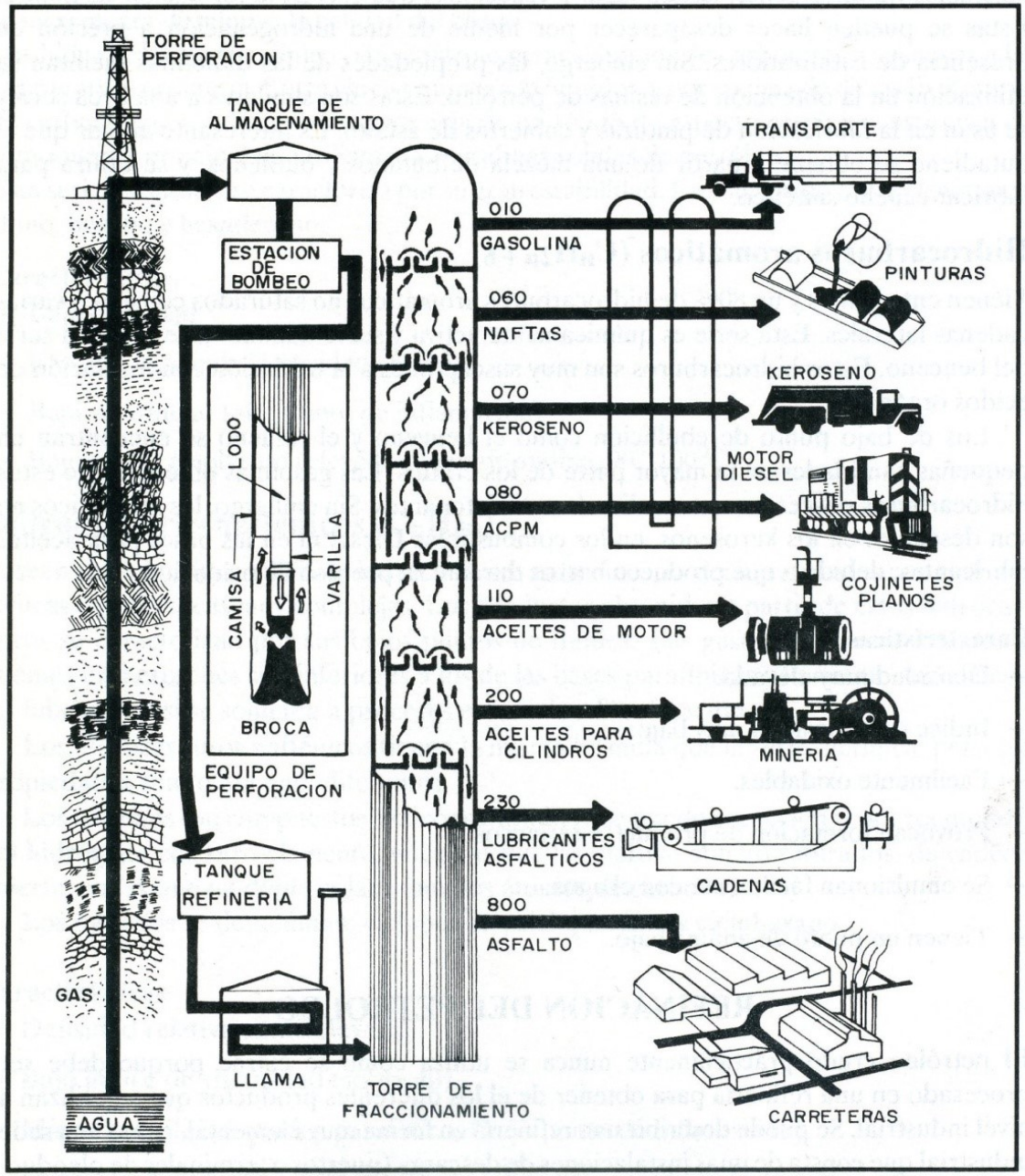
[1] Rhee, 1996 (Vegetable oils).
[2] Straiton, 1998 (Synthetic fluids).

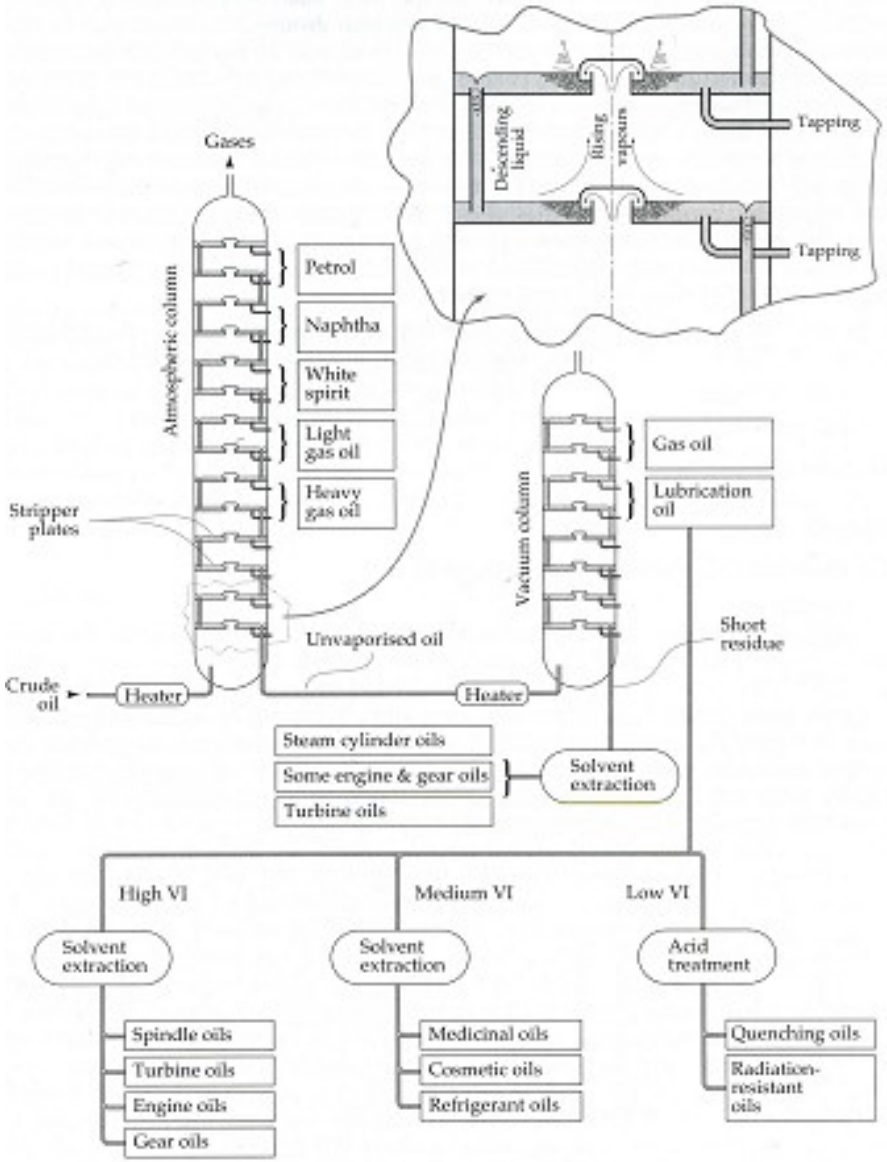
Table 12-2
Relative Cost of Greases

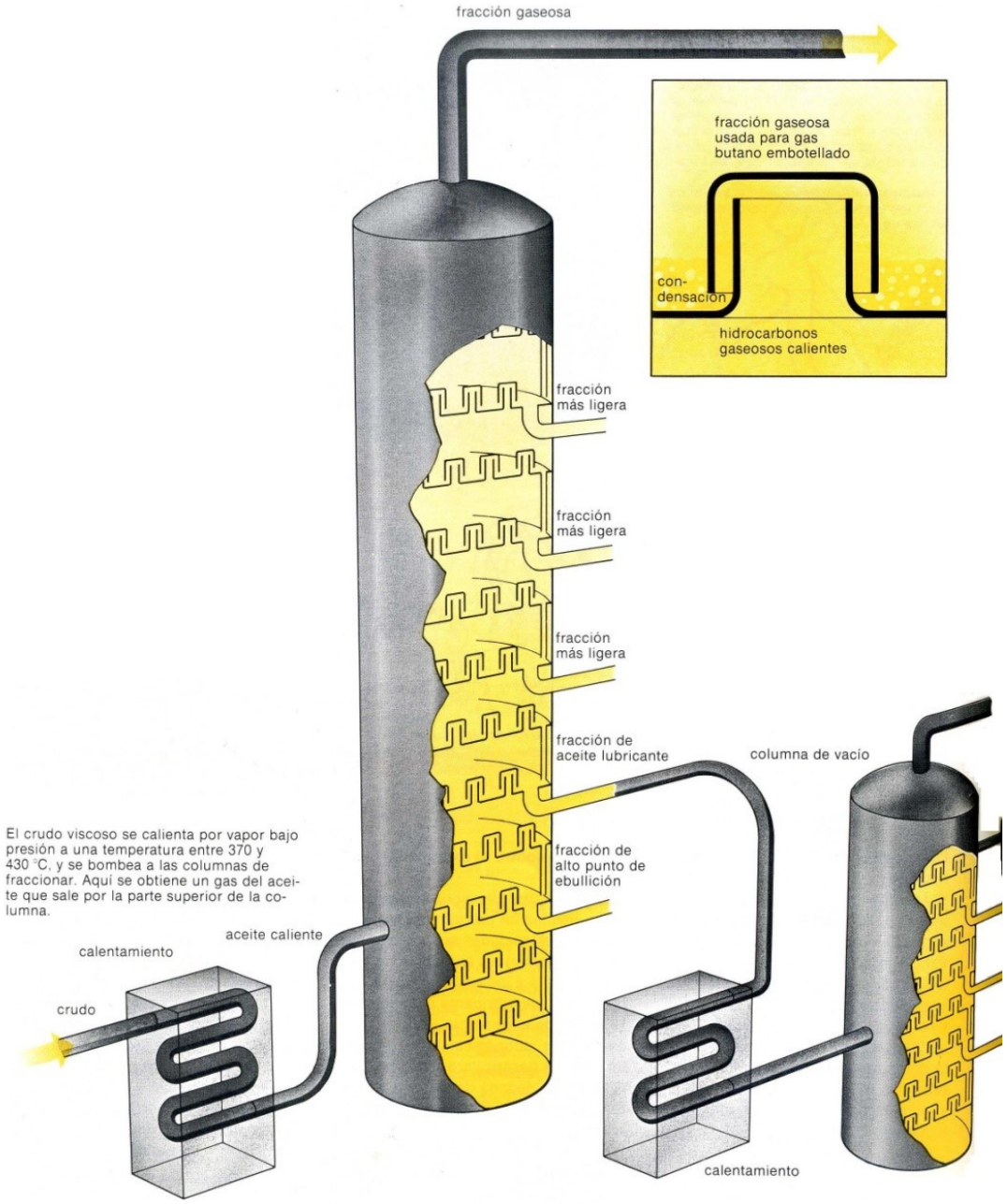
Grease Type	Base Oil	Relative Cost to Lithium Grease[1]
Aluminum	Mineral	2.5 - 3
Calcium	Mineral	0.8
Lithium	Mineral	1
Sodium	Mineral	0.9
Aluminum complex	Mineral	2.5 - 4
Calcium complex	Mineral	0.9 - 1.2
Lithium complex	Mineral	2
Sodium complex	Mineral	3.5
Lithium	Ester	5 - 6
Lithium complex	Ester	10
Lithium complex	Silicone	20
Bentonites (organo clay)	Mineral	2 - 6
Polyurea	Mineral	3
Polyurea	Silicone	35 - 40
Polyurea	Fluorosilicone	100

[1] Mancuso and South 1994.

LUBRICANTES


TORRE DE PERFORACION
TANQUE DE ALMACENAMIENTO
ESTACION DE BOMBEO
LODO
CAMISA
VARILLA
BROCA
EQUIPO DE PERFORACION
TANQUE REFINERIA
GAS
AGUA
LLAMA
TORRE DE FRACCIONAMIENTO
010
GASOLINA
060
NAFTAS
070
KEROSENO
080
ACPM
110
ACEITES DE MOTOR
200
ACEITES PARA CILINDROS
230
LUBRICANTES ASFALTICOS
800
ASFALTO
TRANSPORTE
PINTURAS
KEROSENO
MOTOR DIESEL
COJINETES PLANOS
MINERIA
CADENAS
CARRETERAS


Gases
Atmospheric column
Petrol
Naphtha
White spirit
Light gas oil
Heavy gas oil
Stripper plates
Unvaporised oil
Crude oil
Heater
Heater
Vacuum column
Gas oil
Lubrication oil
Short residue
Descending liquid
Rising vapour
Tapping
Tapping
Steam cylinder oils
Some engine & gear oils
Turbine oils
Solvent extraction
High VI
Medium VI
Low VI
Solvent extraction
Solvent extraction
Acid treatment
Spindle oils
Turbine oils
Engine oils
Gear oils
Medicinal oils
Cosmetic oils
Refrigerant oils
Quenching oils
Radiation-resistant oils


fracción gaseosa
fracción gaseosa usada para gas butano embotellado
con-densación
hidrocarbonos gaseosos calientes
fracción más ligera
fracción más ligera
fracción más ligera
fracción de aceite lubricante
columna de vacío
fracción de alto punto de ebullición
El crudo viscoso se calienta por vapor bajo presión a una temperatura entre 370 y 430 °C, y se bombea a las columnas de fraccionar. Aquí se obtiene un gas del aceite que sale por la parte superior de la columna.
aceite caliente
calentamiento
crudo
calentamiento

Refinamiento

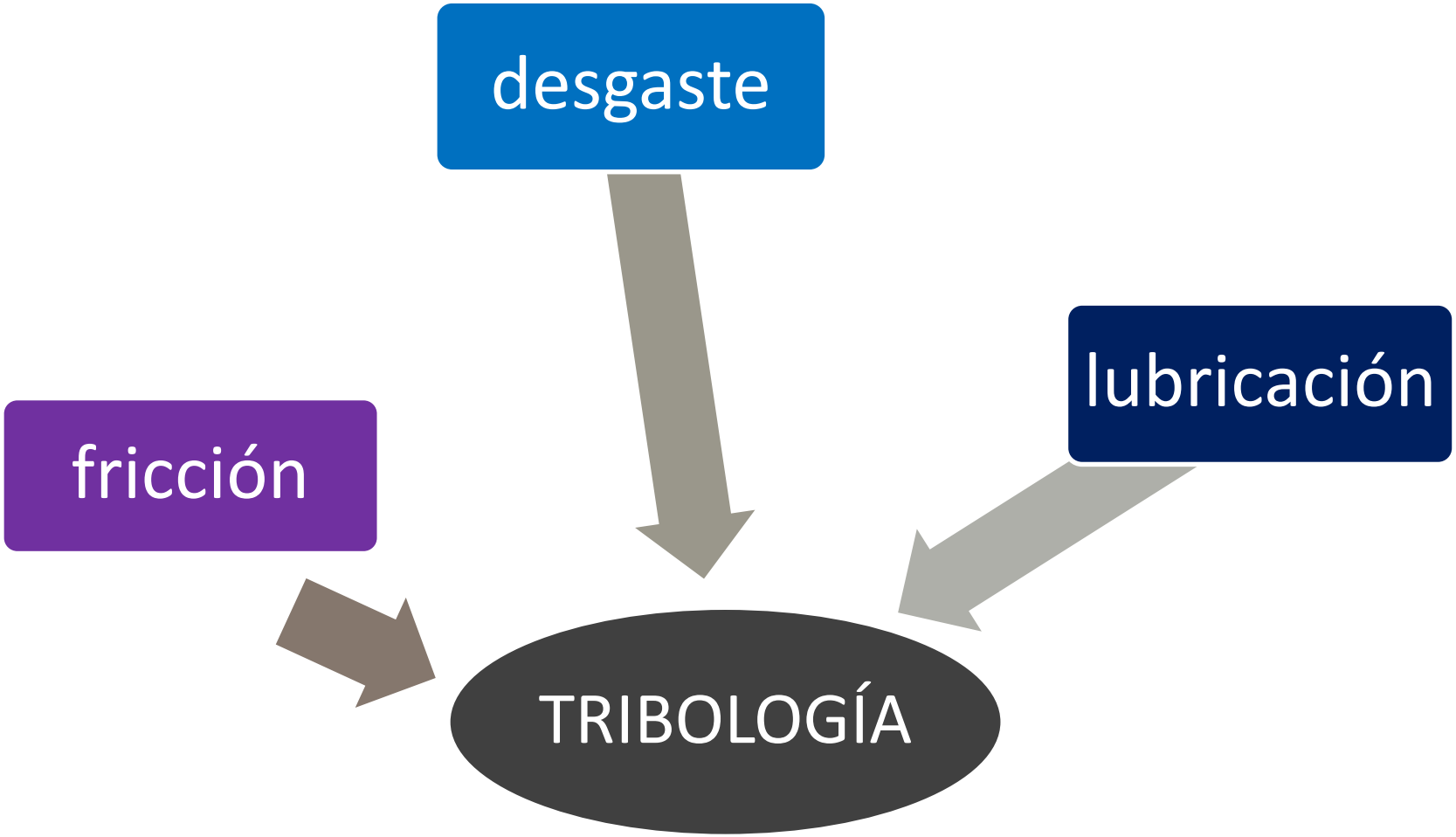
Cada una de las fracciones se pueden ahora bombear para, en procesos posteriores, conseguir productos de mayor calidad. La fracción de aceite lubricante, de particular interés para nosotros, se extráe de la zona inmediatamente debajo del centro de la columna. Entonces se somete a destilación en una columna de vacío, donde se descompone en diferentes fracciones. No obstante, éstos no son todavía aceites lubricantes "del todo"; tienen que pasar a través de algunas etapas de purificación.

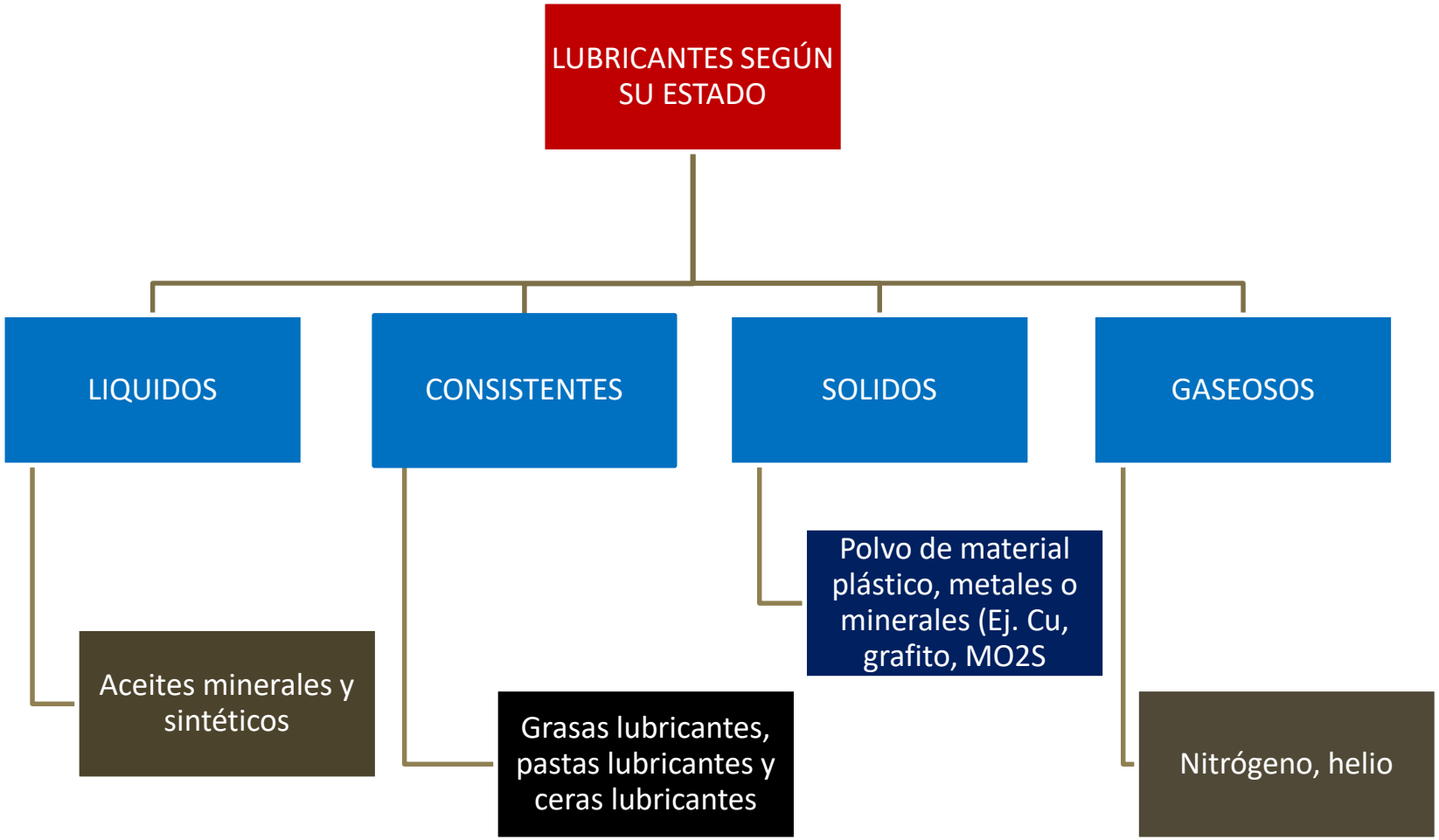
El aceite lubricante destilado todavía contiene muchas impurezas y sustancias que disminuirán su calidad si se emplea directamente. Se debe someter todavía a determinados procesos de purificación.

Cómo se purifican las fracciones de aceite lubricante

- **Desparafinado**
  El destilado de aceite lubricante, además de otros productos, contiene parafina de petróleo. Si los aceites deben tener buenas propiedades de fluidez a baja temperatura, hay que eliminar dicha parafina. La operación reduce la temperatura de congelación del aceite lubricante y se vuelve turbio.
- **Desasfaltación**
  Para quedar sin resina y asfalto, el destilado se debe someter a un tratamiento con propano. El proceso da un color más claro, menos viscosidad y menor tendencia a la formación de residuos parecidos al coke.
- **Refinado de disolventes**
  En el destilado hay otras sustancias no deseadas, así como asfalto. Aquí el índice de viscosidad del aceite aumenta y su resistencia a la oxidación mejora, de manera que se reduce todavía más la tendencia a la formación de coke y resina.
- **Filtración**
  El destilado se filtra a través de un lecho de arenilla activada con un calentamiento suave. Ello mejora aún más la estabilidad a la oxidación y sus propiedades de rechazo al agua.
- **Redestilación**
  El producto consiste ahora de una mezcla de hidrocarbonos más ligeros y más pesados. Pera para obtener el producto de partida para la fabricación de grasas de rodamientos, las fracciones deben todavía ser más limitadas.

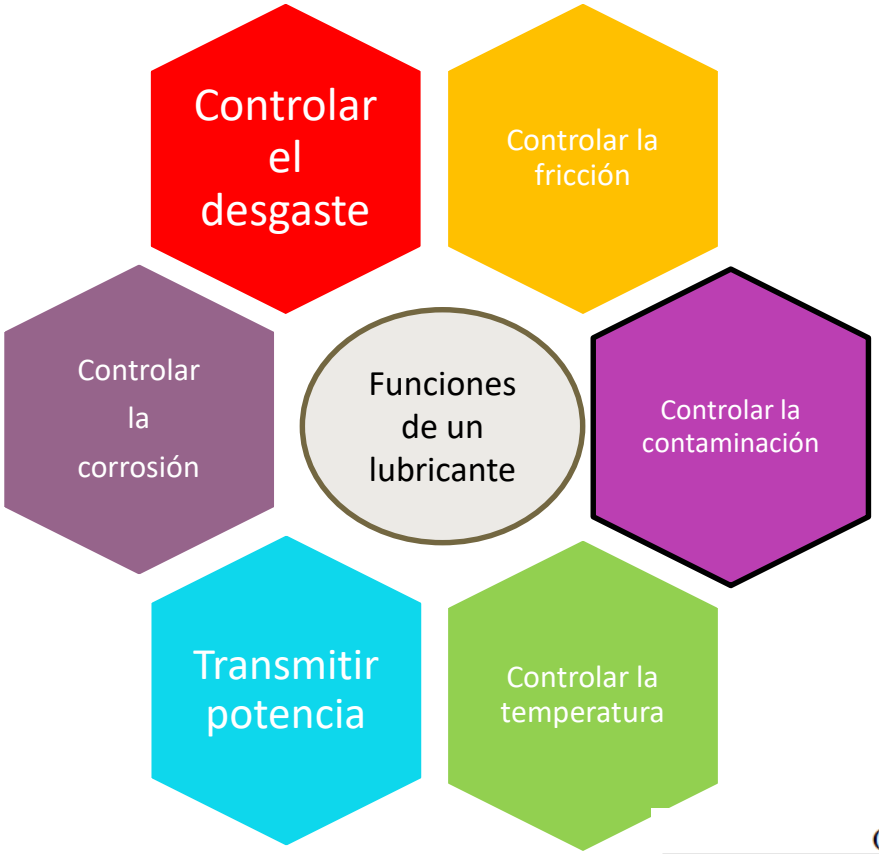
SKF


desgaste
lubricación
fricción
TRIBOLOGÍA


LUBRICANTES SEGÚN SU ESTADO
LIQUIDOS
CONSISTENTES
SOLIDOS
GASEOSOS
Aceites minerales y sintéticos
Grasas lubricantes, pastas lubricantes y ceras lubricantes
Polvo de material plástico, metales o minerales (Ej. Cu, grafito, MO2S
Nitrógeno, helio

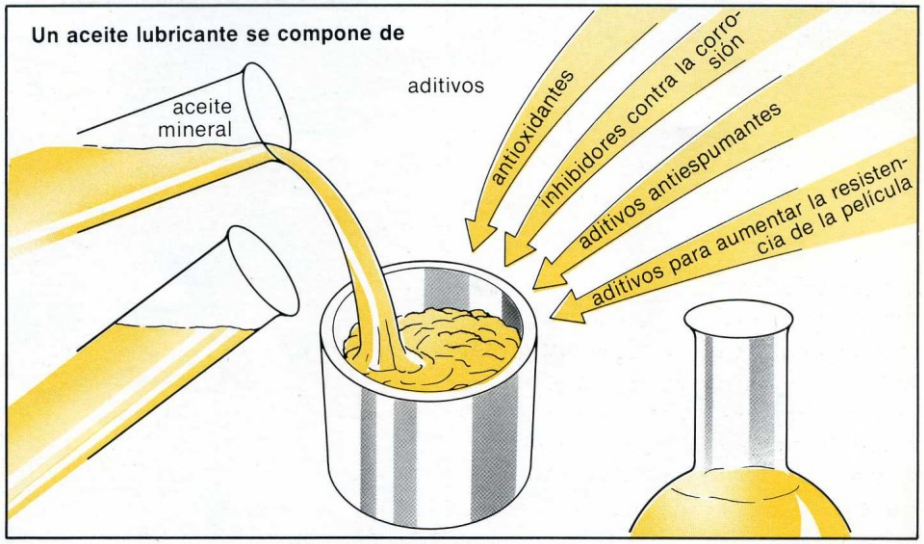
FACTORES QUE AFECTAN LA LUBRICACIÓN

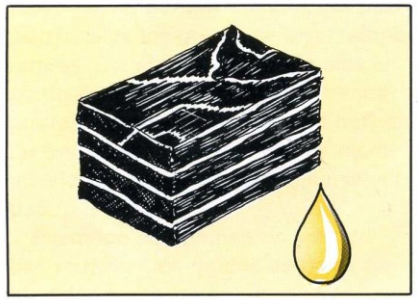
- **OPERACION**
  - CARGA
  - TEMPERATURA
  - VELOCIDAD
- **DISEÑO**
  - Diseño del sistema de aplicación del lubricante
  - Proyecto, cálculo y fabricación de la máquina
  - Materiales y acabado superficial del mecanismo



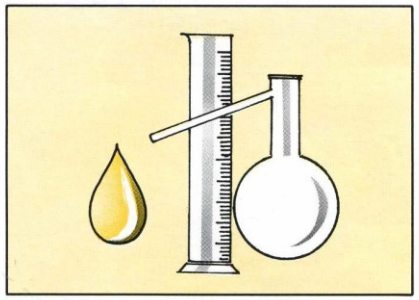
Cuadro 1.1: Funciones de un aceite Lubricante

Controlar la fricción	Separa las superficies en movimientp relativo
Controlar el desgaste	Reduce el desgaste abrasivo
Controlar la corrosión	Protege las superficies de las substancias corrosivas
Controlar la temperatura	Absorbe y transfiere el calor
Controlar la contaminación	Transporta partículas y otros contaminantes a los filtros y separadores
Transmitir potencia	En circuitos hidráulicos, transmite fuerza y movimiento

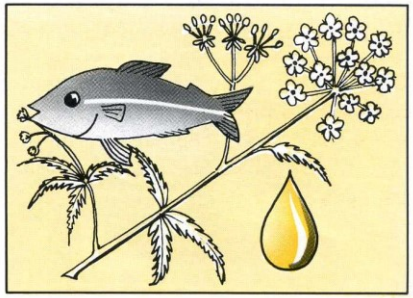




Aceites minerales
En la mayoría de los casos, los aceites más adecuados como lubricantes para rodamientos son los aceites minerales puros, refinados (neutros), y de buena calidad. Los aceites minerales puros no tienen compuestos inestables, que podrían tener un efecto significativo sobre su duración; por ejemplo, nitrógeno, oxígeno, y compuestos de azufre y ácidos.



Aceites sintéticos
Los aceites sintéticos sólo son importantes para la lubricación de rodamientos en casos especiales. Se usan principalmente a temperaturas por encima de 90 °C. En la siguiente página se describen los más importantes.



Aceites de origen animal o vegetal
Los aceites de origen animal o vegetal no se deberían usar normalmente para la lubricación de rodamientos, ya que existe un riesgo de empeoramiento de la calidad o formación de ácidos después de un corto periodo. Los llamados aceites compuestos (aceites minerales con un máximo del 10 % de aceite animal o vegetal), pueden ser adecuados en casos especiales, aunque hay que seguir las recomendaciones de los fabricantes.

ACEITES LUBRICANTES

ACEITE BASE

se obtiene por sucesivas etapas de refinación de fracciones del petróleo y es el que da la VISCOSIDAD al aceite. Puede ser mineral o sintético

ADITIVOS

su función es la de otorgar particulares al aceite y permitir que la VISCOSIDAD se mantenga para proteger al equipo o motor

Un aceite puede tener la misma viscosidad y sin embargo de acuerdo al tipo de aditivos puede servir para distintos usos

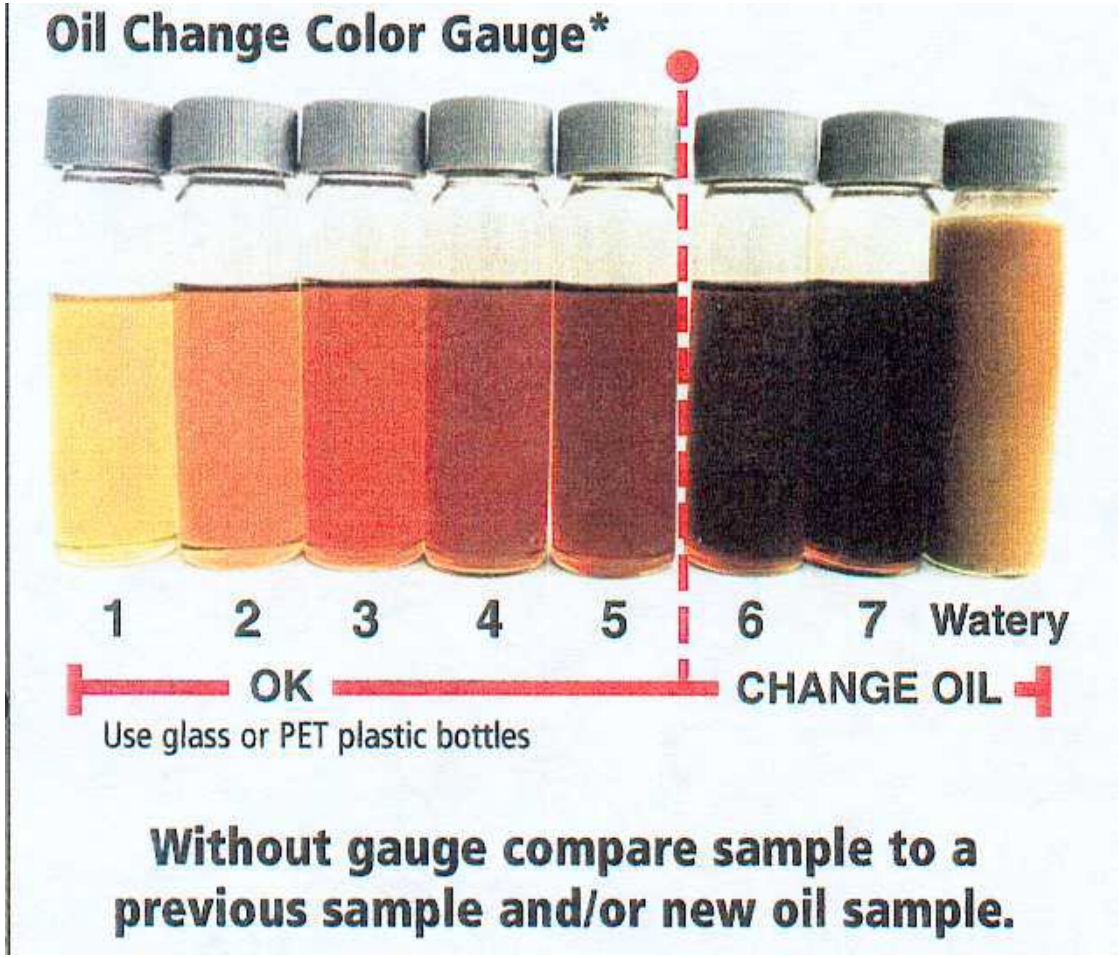
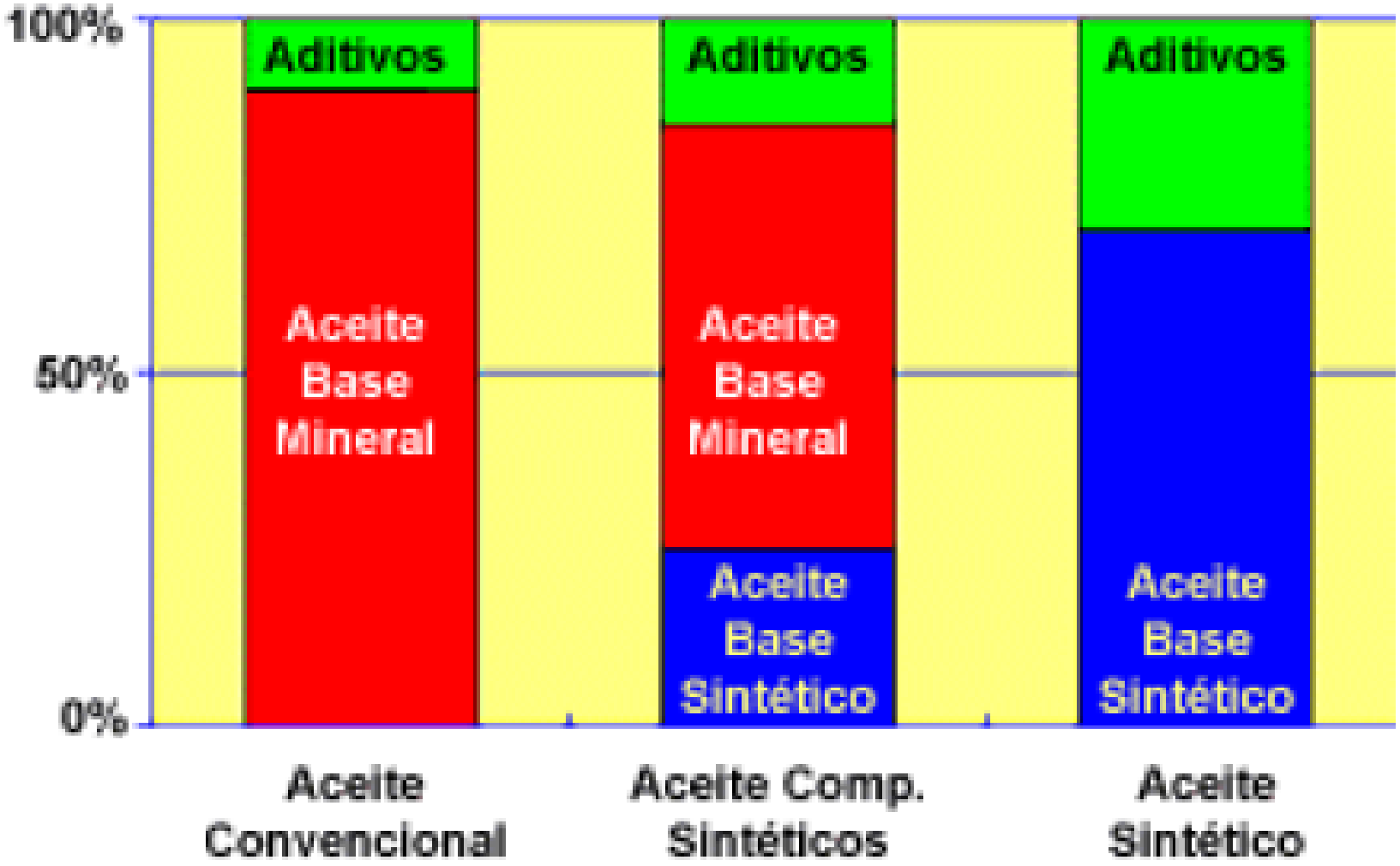

Oil Change Color Gauge*
1
2
3
4
5
6
7
Watery
OK
CHANGE OIL
Use glass or PET plastic bottles
Without gauge compare sample to a previous sample and/or new oil sample.

Figura 3.10: Izquierda: Grasa nueva. Derecha: grasa contaminada con agua (apariencia lechosa)

Formulación de Lubricantes



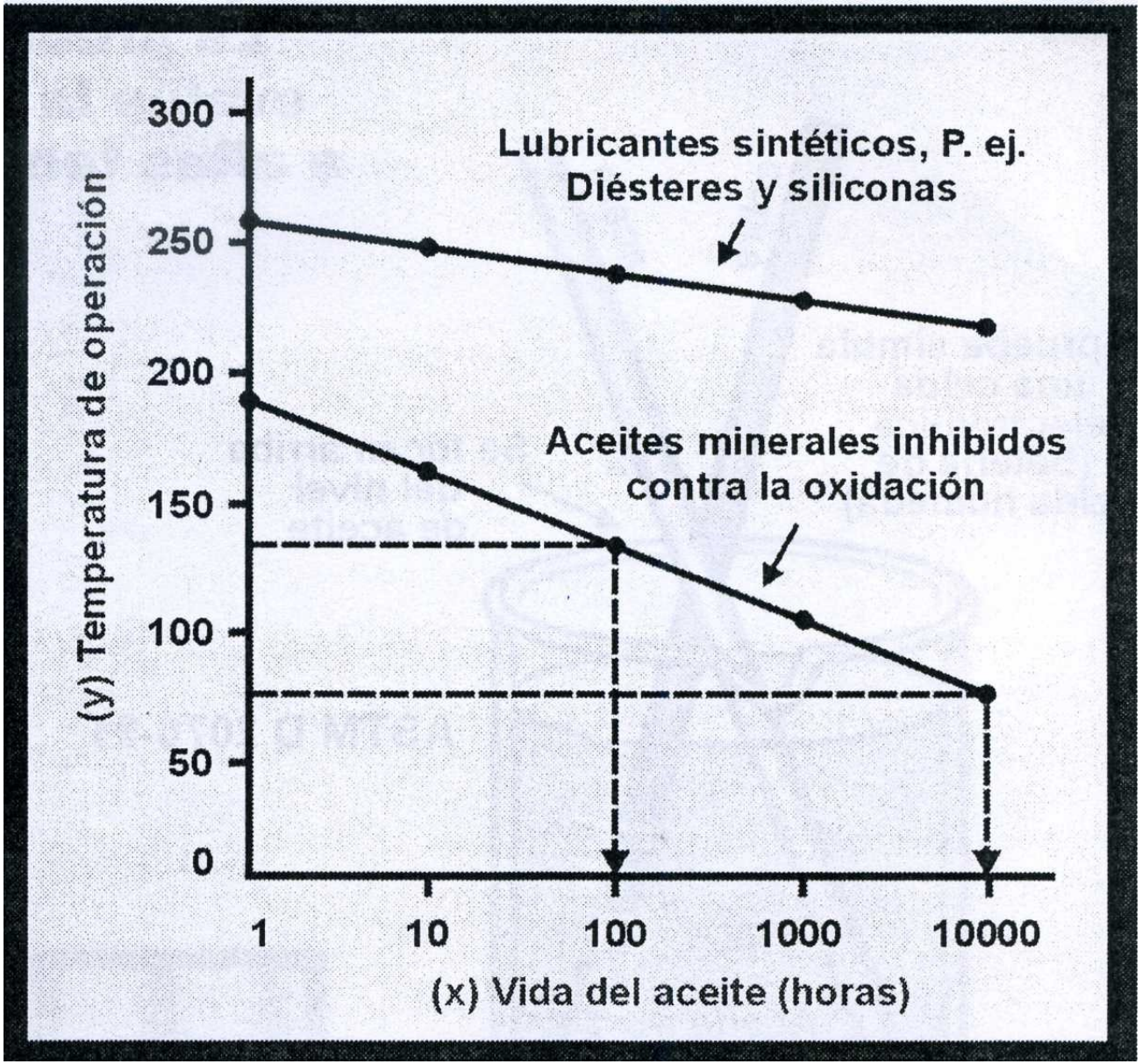
Condición del lubricante

- Lubricante Degradado:

  Se debe programar el Cambio del Lubricante.

- Lubricante Contaminado:

  Es posible eliminar la contaminación para que continúe en servicio.


Lubricantes sintéticos, P. ej.
Diésteres y siliconas
Aceites minerales inhibidos
contra la oxidación
(y) Temperatura de operación
300
250
200
150
100
50
0
1
10
100
1000
10000
(x) Vida del aceite (horas)

Característica	PAO (Polialfaolefina)
Origen	Sintético (polimerización de α-olefinas)
Viscosidad-índice (VI)	120 – 180 (muy estable con la temperatura)
Punto de fluidez	Muy bajo (-50 °C a -60 °C)
Punto de inflamación	Alto (>220 °C)
Volatilidad	Baja (menor consumo por evaporación)
Estabilidad térmica/oxidativa	Excelente (vida útil 2–5× mayor que mineral)
Higroscopicidad	No higroscópico (no absorbe humedad)
Compatibilidad con sellos	Muy buena (compatible con elastómeros comunes)
Lubricidad	Alta; reduce fricción y desgaste
Rango de temperatura operativa	-50 °C a 200 °C (según grado)
Grados ISO más comunes	PAO 32, 46, 68, 100, 150
Aplicaciones típicas	Compresores de aire, reductores de engranajes, turbinas, sistemas hidráulicos, automoción (motores, transmisiones), equipos en ambientes extremos
Ventajas clave	• Intervalos de cambio prolongados
Limitaciones	Precio 3–5× mayor que mineral; no mezclar con aceites PAG o algunos ésteres sin verificar compatibilidad
Normas / certificaciones frecuentes	ISO VG, DIN 51506 (compresores), NSF H1 (contacto alimentario), API GL-4/GL-5

Consejo para su uso: Seleccionar el grado ISO según el fabricante del equipo; realizar análisis de aceite para maximizar la vida útil.

Característica	Poliolester (POE) – Datos típicos
Tipo de base	Sintética (ésteres de ácidos grasos)
Viscosidad ISO más común	32 cSt (también disponible 22, 46, 68, 100…)
Punto de fluidez	-45 °C a -60 °C (excelente a bajas T)
Punto de inflamación	220 – 260 °C (alto)
Estabilidad térmica/oxidativa	Muy buena (superior a mineral y PAO)
Higroscopicidad	**Alta** – absorbe agua rápidamente
Lubricidad / protección anti-desgaste	Excelente (mejor que PAO y mineral)
Miscibilidad con refrigerantes HFC	Total (R-134a, R-404A, R-407C, R-410A)
Biodegradabilidad	Alta (existen grados "bio-based")
Compatibilidad con elastómeros	Buena, pero puede hinchar algunos sellos de NBR; verificar con EPDM o HNBR
Rango de temperatura de servicio	-50 °C a 180 °C (algunos ésteres hasta 220 °C)
Aplicaciones principales	• Compresores de refrigeración y aire acondicionado
Ventajas clave	• Lubricidad superior
Precauciones	• Mantener envases bien cerrados (absorbe humedad)

Consejo práctico: en refrigeración, cambiar el filtro-desecante y purgar con nitrógeno seco cuando se use POE para minimizar la humedad residual

Característica	Polialquilenglicol (PAG) – Datos típicos
Tipo de base	Sintética (polímero de óxidos de alquileno)
Viscosidad ISO más común	46, 68, 150, 220, 320, 460 (según aplicación)
Punto de fluidez	-40 °C a -55 °C (muy bajo)
Punto de inflamación	190 – 260 °C (depende del grado)
Estabilidad térmica/oxidativa	Buena, pero inferior a PAO/éster; sensible a metales cobre/hierro cataliticos
Solubilidad en agua	**Miscible totalmente** (water-soluble) o **insoluble** (oil-soluble) según química EO/PO
Lubricidad / protección anti-desgaste	Muy buena; superior a mineral, similar a POE
Viscosidad-índice (VI)	150 – 250 (excelente estabilidad)
Biodegradabilidad	Alta (existen grados "eco-friendly" y "food-grade")
Compatibilidad con elastómeros	Variable: puede hinchar EPDM; compatible con FKM (Viton); **NO compatible** con NBR, pinturas alquídicas y algunos metales (Cu, Sn)
Rango de temperatura de servicio	-50 °C a 180 °C (algunos grados hasta 200 °C)
Aplicaciones principales	• Compresores de refrigeración (NH_3, CO_2, HFC)
Ventajas clave	• Excelente lubricidad a alta presión
Precauciones	• **Revisar compatibilidad con sellos y pinturas** antes de cambiar

Consejo rápido: si se cambia de mineral/PAO a PAG, usar un **limpia-sistema específico** y **cambiar filtros y sellos** para evitar reacciones químicas o fugas.

Característica	Ésteres de fosfato – Datos típicos
Origen / familia	Ésteres sintéticos del ácido fosfórico (H_3PO_4)
Viscosidad ISO más común	46, 68, 100 (fluidos HFD-R)
Punto de fluidez	-25 °C a -40 °C (según estructura)
Punto de inflamación	220 – 260 °C (auto-extinguible)
Estabilidad térmica / oxidativa	Muy buena (aceites inhibidos)
Estabilidad hidrolítica	**Media-baja** – hidrólisis acelerada por agua y calor
Resistencia al fuego	**Excelente** – los más ignífugos entre los sintéticos no acuosos
Viscosidad-índice (VI)	0 – 100 (ajustable con aditivos)
Densidad relativa	> 1,0 (el agua flota; drenaje desde la parte baja)
Lubricidad / EP-AW	Muy buena; funciona como anti-desgaste y EP por sí mismo
Compatibilidad con sellos y pinturas	**Problemática**: hincha NBR, ataca pinturas alquídicas y recubrimientos estándar
Solubilidad en agua	Muy baja (base no acuosa)
Aplicaciones principales	• Fluidos hidráulicos de turbinas y calderas (control electro-hidráulico)
Ventajas clave	• Máxima seguridad contra incendios
Limitaciones	• Sensibilidad a la humedad (formación de ácidos corrosivos)
Buenas prácticas de mantenimiento	• Mantener < 300 ppm de agua mediante secadores o vacío

Regla rápida: sólo usar ésteres de fosfato cuando el **riesgo de incendio sea crítico** y exista un **plan de mantenimiento activo** (deshidratación, análisis y control de sellos)

Característica	Ésteres di-básicos (Di-esters) – Datos típicos
Origen / familia	Ésteres sintéticos de ácidos dicarboxílicos + alcoholes (p.ej. Adipato, Sebacato, Azelato)
Viscosidad ISO más común	22, 32, 46, 68
Punto de fluidez	-60 °C a -75 °C (muy bajo)
Punto de inflamación	200 – 230 °C
Estabilidad térmica / oxidativa	Buena (mejor que mineral, inferior a PAO)
Estabilidad hidrolítica	Media (sensible a agua y calor)
Viscosidad-índice (VI)	120 – 150
Lubricidad / protección anti-desgaste	Muy buena (superior a mineral y PAO)
Biodegradabilidad	Alta (clasificación "readily biodegradable")
Compatibilidad con sellos	Puede hinchar NBR y EPDM; compatible con FKM
Solubilidad en agua	Muy baja
Rango de temperatura de servicio	-60 °C a 150 °C (algunos hasta 175 °C)
Aplicaciones principales	• Lubricantes para aviación a baja T (-54 °C)
Ventajas clave	• Excelente fluidez en frío extremo
Limitaciones	• Menor resistencia térmica que PAO y ésteres aromáticos
Buenas prácticas de mantenimiento	• Mantener < 300 ppm de agua

Resumen: Di-esters son ideales cuando se necesita **fluidez extrema en frío, lubricidad superior y perfil ambiental amigable**, pero requieren **control de humedad y compatibilidad de materiales**

¿QUE SON LOS ADITIVOS?

- COMPUESTOS ORGÁNICOS O INORGÁNICOS DISUELTOS O SUSPENDIDOS (COMO SÓLIDOS) EN EL ACEITE
- PUEDEN REPRESENTAR ENTRE EL 0.1% AL 30% EN VOLUMEN
- DEBEN SER MONITOREADOS EN LOS ANÁLISIS DE ACEITE

FUNCION DE LOS ADITIVOS

MEJORAR PROPIEDADES EXISTENTES

- ANTIOXIDANTES
- INHIBIDORES DE CORROSION
- AGENTES ANTIESPUMANTES
- AGENTES DEMULSIFICANTES

SUPRIMIR PROPIEDADES INDESEABLES

- DEPRESORES DE PUNTO DE CONGELACION
- MEJORADORES DEL INDICE DE VISCOSIDAD

INCORPORAR NUEVAS PROPIEDADES

- ADITIVOS EXTREMA PRESION (EP) O ANTIDESGASTE (AW)
- DETERGENTES
- DESACTIVADORES DE METALES
- AGENTES DE ADHESIVIDAD

INHIBIDORES DE CORROSIÓN

La corrosión de los metales es un fenómeno natural que ocurre debido a la inestabilidad termodinámica de la mayoría de los metales. En efecto, salvo raras excepciones (el oro, el hierro de origen meteorítico) los metales están presentes en la Tierra en forma de óxido, en los minerales (como la bauxita si es aluminio, la hematita si es hierro).

A menudo se habla del acero inoxidable; el término es impropio por dos razones:

Este tipo de acero contiene elementos de aleación (cromo, níquel) que se oxidan; a esta capa de óxido se debe la protección del acero.

No está protegido más que en ciertos tipos de ambiente, y se corroerá en ambientes distintos.

La mayoría de ellos actúa neutralizando el material acido formando películas moleculares que se adhieren con fuerza sobre las superficies metálicas y que resisten al desplazamiento por los agentes corrosivos.

Hay muchas sustancias que actúan como inhibidores; Molibdatos, nitratos, fosfatos, carbonatos, etc.

MEJORADORES DEL INDICE DE VISCOSIDAD

Estos aditivos tienen la capacidad de controlar los posibles cambios de viscosidad, debido a efectos de la temperatura. Son generalmente polímeros de alto peso molecular (50.000- 125.000) que a bajas temperaturas tienen su cadena ovillada y a medida que la temperatura aumenta se va extendiendo aumentando de esa forma la viscosidad del aceite.

Las ventajas operacionales de un lubricante con un alto índice de viscosidad son: menor fricción, menor pérdida de lubricante y menor desgaste.

Los tipos básicos de modificadores de viscosidad se pueden agrupar en:

a) Poliésteres:

- Polimetacrilatos
- Poliésteres de Estireno

b) Hidrocarburos:

- Copolímeros de Olefinas.
- Copolímeros de Estireno Isopropeno.
- Copolímeros de Estireno Butadieno.
- Poli-isobutileno.

Antioxidantes: cuando un lubricante entra en contacto con aire, inevitablemente se oxida, con una cierta velocidad que depende básicamente de las características del aceite y de la temperatura. Además, este proceso puede ser acelerado si hay contacto con algunos metales (cobre e hierro) que actúan como agente catalítico, o bien por presencia de 9 contaminantes en el aceite como ser agua, suciedad y partículas. Las reacciones de oxidación conducen a una degradación progresiva del aceite con formación de compuestos solubles (ácidos débiles) e insolubles (lodos, lacas, depósitos carbonosos). Los antioxidantes son compuestos que retardan los procesos de oxidación ya sea interrumpiendo las reacciones de oxidación (fenoles, aminas) o bien contrarrestando los efectos catalíticos de los metales (compuestos orgánicos con azufre y/o fósforo).

Antiherrumbre: es inevitable que el aceite se contamine con agua y esta a su vez provoca la herrumbre de las aleaciones ferrosas. Los antiherrumbre son compuestos (generalmente ácidos orgánicos) que previenen la formación de herrumbre evitando de distintas formas que el agua tome contacto con el metal, por ejemplo: reaccionando con las superficies o bien formando una película protectora.

Dispersantes: en muchas aplicaciones el lubricante entra en contacto con contaminantes que son insolubles en el aceite, los cuales se aglomeran junto con los productos de oxidación y forman depósitos sobre las superficies metálicas. Estos depósitos pueden afectar el correcto funcionamiento de los mecanismos y eventualmente bloquear conductos de lubricación y o filtros

Los dispersantes son compuestos orgánicos polares, que previenen esta aglomeración manteniendo los productos insolubles en suspensión como partículas finamente divididas. De este modo se mantiene la limpieza de las superficies de trabajo y se prolonga la vida útil de los filtros.

Extrema Presión: bajo condiciones de carga muy severas se puede producir la microsoldadura o engranamiento de las aristas de la rugosidad superficial. Los aditivos extrema presión son compuestos a base de Cloro, Azufre y/o Fósforo que son muy estables a bajas temperaturas, pero que cuando se produce una elevación de temperatura localizada por contacto incipiente metal con metal (por ejemplo, en la superficie del diente de un engranaje se podrían alcanzar rápidamente temperaturas del orden de 300°C) se descomponen y reaccionan con la superficie metálica formando compuestos de bajo punto de fusión (eutécticos) que evitan la soldadura.

Tipo de Aditivo	Función Principal	Aplicaciones Comunes
Antidesgaste (AW)	Protege superficies metálicas contra el desgaste bajo carga moderada	Motores, reductores, sistemas hidráulicos
Extrema Presión (EP)	Evita el daño por adhesión y desgaste severo bajo altas cargas y choques	Reductores de engranajes, palas mecánicas, transmisiones de camiones mineros
Modificadores de Fricción	Reducen el coeficiente de fricción, mejorando la eficiencia energética	Motores, sistemas hidráulicos, transmisiones automáticas
Inhibidores de Corrosión	Protegen metales contra la oxidación y corrosión por humedad o contaminantes	Turbogeneradores, equipos en ambientes húmedos o mineros
Antioxidantes	Retardan la degradación del lubricante por oxidación térmica	Motores, compresores, sistemas de turbina
Depresores de Punto de Fluidez	Mejoran la fluidez a bajas temperaturas	Equipos en climas fríos, montacargas, camiones mineros
Antiespumantes	Evitan la formación de espuma que puede causar cavitación o pérdida de lubricación	Sistemas hidráulicos, turbogeneradores, reductores de alta velocidad
Mejoradores de Viscosidad (VI)	Mantienen la viscosidad estable en un amplio rango de temperaturas	Motores, transmisiones, sistemas hidráulicos
Emulsionantes o Desemulsionantes	Controlan la mezcla o separación de agua y aceite según el sistema	Sistemas expuestos a vapor o condensación (turbinas, compresores)
Biocidas	Previenen el crecimiento bacteriano en lubricantes a base de agua	Fluidos hidráulicos solubles en agua, sistemas de enfriamiento
Adhesivos (Tackifiers)	Mejoran la adherencia del lubricante a superficies metálicas, reduciendo la pérdida	Cadenas, cables, engranajes abiertos en palas y montacargas

Los **biocidas** son **sustancias químicas o mezclas** (incluyendo microorganismos) que se utilizan para **destruir, neutralizar, prevenir o controlar organismos nocivos**, como bacterias, hongos, algas o virus.
En el contexto de los **lubricantes industriales**, los biocidas se emplean para **evitar el crecimiento microbiano** en aceites o fluidos que pueden estar expuestos a agua o condiciones húmedas, como en sistemas hidráulicos o refrigerantes solubles en agua. Esto ayuda a **prevenir la degradación del lubricante**, la corrosión de componentes y los problemas operativos.

Ejemplos de biocidas usados en lubricantes incluyen:
- **Triazinas**
- **Fenoles**
- **Formaldehídos**

Estos compuestos actúan interrumpiendo procesos vitales de los microorganismos, como la función celular o la reproducción, lo que impide su proliferación dentro del sistema lubricado

Los **biocidas** en lubricantes industriales tienen **efectos positivos y negativos clave**, dependiendo de su uso y contexto:

✅ Efectos positivos

1. **Previenen la proliferación microbiana**: inhiben bacterias, hongos y levaduras que degradan el lubricante y generan ácidos, olores y corrosión .
2. **Reducen la formación de biopelículas (biofouling)**: evitan la acumulación de masa microbiana en superficies internas de sistemas de lubricación .
3. **Previenen la degradación del lubricante**: evitan el "rancidez" o descomposición del aceite por actividad microbiana .
4. **Mejoran la seguridad operativa**: reducen el riesgo de obstrucciones por biomasa o corrosión inducida por microorganismos .

❌ Efectos negativos

1. **Riesgos para la salud**: muchos biocidas están clasificados como **peligrosos para la salud humana**, especialmente en aplicaciones alimentarias o donde hay contacto directo con operarios .
2. **Contaminación cruzada**: pueden migrar a productos (como alimentos o agua) si se usan en equipos no compatibles o sin controles adecuados .
3. **Impacto ambiental**: algunos biocidas no son biodegradables y pueden afectar ecosistemas si se liberan sin tratamiento previo .
4. **Limitaciones regulatorias**: su uso está restringido en algunos países o industrias (como la alimentaria), lo que dificulta la estandarización global .

Recomendación

El uso de biocidas debe ser **estratégico y controlado**. En muchos casos, se prefiere un **manejo integral del lubricante** (filtración, deshidratación, control de temperatura) antes que depender solo de biocidas

TABLA COMPARATIVA ENTRE SINTETICOS Y MINERALES

Característica	Lubricantes MINERALES (petróleo crudo refinado)	Lubricantes SINTÉTICOS (proceso químico controlado)
Origen	Fracción destilada del petróleo crudo + aditivos	Poliolefinas (PAO), ésteres, PAG, etc. + aditivos
Pureza	Contiene impurezas naturales (azufre, aromáticos, metales)	Alta pureza; moléculas "diseñadas" y muy consistentes
Estabilidad térmica	Media-baja; oxidan y degradan más rápido a >100 °C	Alta; soportan 150 – 200 °C sin perder propiedades
Límite de fluidez a baja Tª	Se espesan notablemente por debajo de -15 °C	Fluyen hasta -40 °C o menos (muy bajo punto de fluidez)
Intervalo de cambio	Corto-medio (menor vida útil)	Largo (2 – 5 veces más que un mineral equivalente)
Viscosidad-índice (VI)	90 – 105 (varia mucho con la Tª)	120 – 180 (más estable en rangos amplios)
Lubricidad / fricción	Buena, pero depende de aditivos	Excelente; menores coeficientes de fricción intrínsecos
Volatilidad	Alta; evaporan más aceite lo que implica mayor consumo	Baja; menos pérdida por evaporación
Comportamiento EP/AW	Requiere muchos aditivos	Tendencia inherente a la pelicula fuerte; menos aditivo
Compatibilidad con sellos	Generalmente compatible con elastómeros estándar	Algunos sintéticos (ésteres, PAG) pueden hinchar o endurecer ciertos sellos
Precio (€/L)	1 – 3 × (base mineral)	3 – 10 × (más caros)
Impacto ambiental	Biodegradabilidad baja; residuos tóxicos si se quema	Algunos sintéticos (ésteres, PAO) son más biodegradables; menos emisiones
Aplicaciones típicas en minería	Motores diésel estándar, transmisiones y reductores no criticos, sistemas hidráulicos de baja exigencia	Motores de alto rendimiento, turbogeneradores, reductores de engranajes de baja Tª o alta carga, sistemas hidráulicos de alta presión

- **Mineral**: barato, suficiente para condiciones “normales”, pero requiere cambios frecuentes y aditivos intensivos.

- **Sintético**: caro, pero ahorra en paradas, energía y mantenimiento cuando las condiciones son extremas (altas Tº, bajas Tº, cargas pesadas, largos intervalos).

ADITIVOS X MAQUINAS

	Fluidos hidráulicos	Aceites de turbinas de vapor	Aceites de cárter	Aceites de engranes	Aceites de compresores	Aceites de rodamientos
Antioxidantes - resistir la formación de ácidos, lodo barniz, y alta viscosidad del aceite	Agua, altas temperaturas, aereación, partículas metálicas	Agua, superficies calientes	Agua, azufre (combustible), altas temperaturas, aromáticos (combustible), aereación, partículas metálicas	Agua, altas temperaturas, partículas metálicas, aditivos EP, altas viscosidades	Agua, alta temperatura, aereación	Agua, alta temperatura, aereación
Agentes antidesgaste y EP - resistir el desgaste adhesivo, desgaste abrasivo, rayado y escariado de las superficies	Lubricación escasa en bombas, motores y activadores, condiciones de alta presión y baja viscosidad	No son usados frecuentemente	Lubricación escasa en árbol de levas, camisas, y anillos (aros)	Contactos de lubricación escasa en dientes de engranes y rodamientos	Lubricación escasa en árbol de levas, camisas, y anillos (aros)	Lubricación escasa entre la pista y los elementos rodantes
Inhibidores de Corrosión -	Superficies de bronce y latón	Rodamientos de metales blancos, babbit, humedad	Metales de bancada, metales amarillos, bujes, arandelas de empuje, anillos y camisas, combustibles con alto contenido de azufre, fuga de gases.	Metales amarillos, corona en mandos sinfín, metales blancos	Cojinetes, metales amarillos, bujes, arandelas de empuje, humedad	Metales de chumaceras y cojinetes, jaulas en rodamientos de tipo rotatorio.
Agentes demulsificantes	Alto ingreso de agua de condensación, riesgo de cavitación	Agua del vapor	No usados	Agua de condensación, lavado por niebla, y vapor	Agua del aire comprimido	Agua de condensación, lavado por agua a presión y vapor
Inhibidores de herrumbre	Humedad proveniente de bajas temperaturas, condensación y uso intermitente, fluidos base agua y fugas de enfriadores	Humedad por paso de vapor	Humedad por gases de combustión, bajas temperaturas y uso intermitente de viajes cortos	Condensación por bajas temperaturas y uso intermitente	Humedad por aire comprimido	Condensación e ingreso de vapor.
Inhibidores de espuma	Tanques pequeños, mala difusión en la línea de retorno, humedad oxidación	No usado generalmente	Humedad, tanques pequeños, alta agitación	Agitación por salpique, humedad, alta viscosidad, pequeños tanques	Aire comprimido, oxidación, agua en el aceite, detergentes	Alta agitación, tanques pequeños, humedad
Mejorador de Indice de viscosidad	Climas extremos varias estaciones, arranque en frío y operación en caliente	No usados generalmente	Climas extremos varias estaciones, arranque en frío y operación en caliente	No usados generalmente	No usados generalmente	No usados generalmente
Detergentes y dispersantes	No usados	No usados	Hollín de la combustión, control de depósitos en los anillos y pistones, control de depósitos en asientos de válvulas, condiciones de zona fría	No usados	Control de depósitos en la superficie de las válvulas	No usados excepto en aceites de máquinas de papel
Depresores del punto de congelación	Condiciones de arranque en frio (aceites minerales parafínicos)	No usados	Condiciones de arranque en frío (aceites minerales parafínicos)	Condiciones de arranque en frío (aceites minerales parafínicos)	Condiciones de arranque en frío (aceites minerales parafínicos)	No usados generalmente

DESGASTE

1.6. Desgaste

Es consecuencia directa del rozamiento metal metal entre dos superficies y se define como el deterioro sufrido por ellas a causa de la intensidad de la interaccion de sus rugosidades superficiales.

El desgaste puede llegar a ser crítico, haciendo que las piezas de una máquina pierdan sus tolerancias y queden inservibles, causando costosos daños y elevadas pérdidas de producción. Una de las funciones básicas que debe tener toda sustancia que se emplee como lubricante es la de reducir la fricción sólida y por tanto, el desgaste a los valores más bajos posibles.

1.6.1. Tipos de desgaste

Una superficie lubricada se puede gastar por factores que pueden ser intrínsecos al tipo de lubricante utilizado, a su tiempo de servicio o debido a contaminantes externos. En algunos pocos casos se presenta como resultado de la seleccion incorrecta del equipo, de un mal diseño, o del empleo de materiales inadecuados para las condiciones de operación de los mecanismos. En las superficies lubricadas el proceso de desgaste es leve y genera partículas (del orden de 1 a 2 μm. Los tipos de desgaste más importantes son:

Adhesivo

O por contacto metal metal. Se presenta en todos los mecanismos lubricados o no, cuando las superficies no están separadas completamente por una película de aceite (lubricación límite). Este tipo de desgaste se presenta cuando un mecanismo para o arranca y hay escasez de la película límite como resultado del agotamiento de los aditivos antidesgaste del aceite, ya sea porque se está utilizando un aceite inadecuado o porque el tiempo de servicio del aceite ha sobrepasado el máximo permisible.

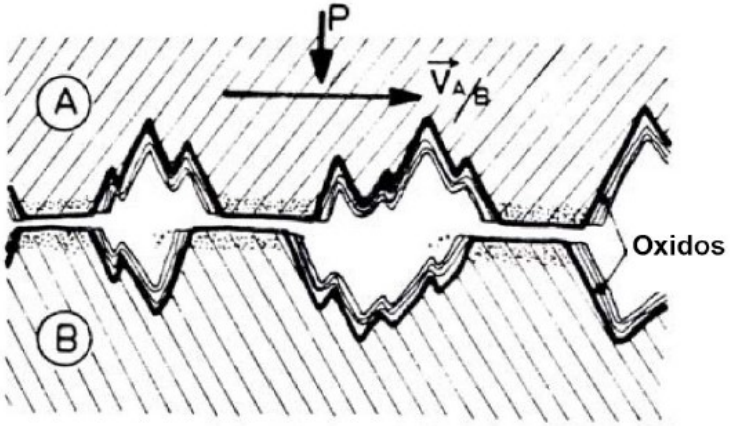


Figura 1.8: Ejemplo de desgaste adhesivo por cizallamiento

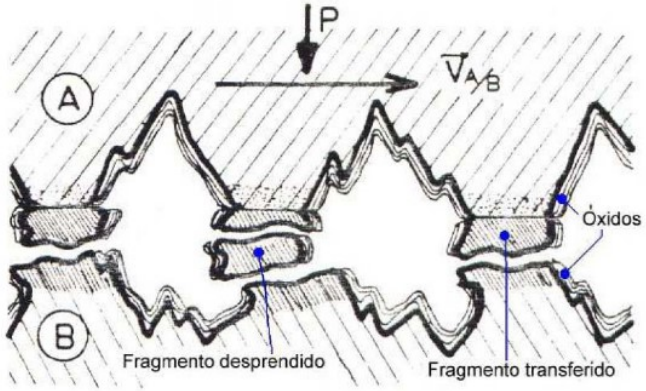


Figura 1.9: Ejemplo de desgaste adhesivo por soldadura

Abrasivo

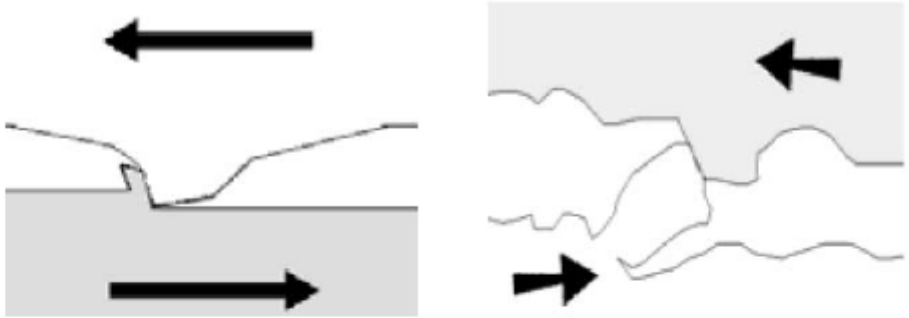


Figura 1.10: Ejemplo de desgaste abrasivo entre dos cuerpos

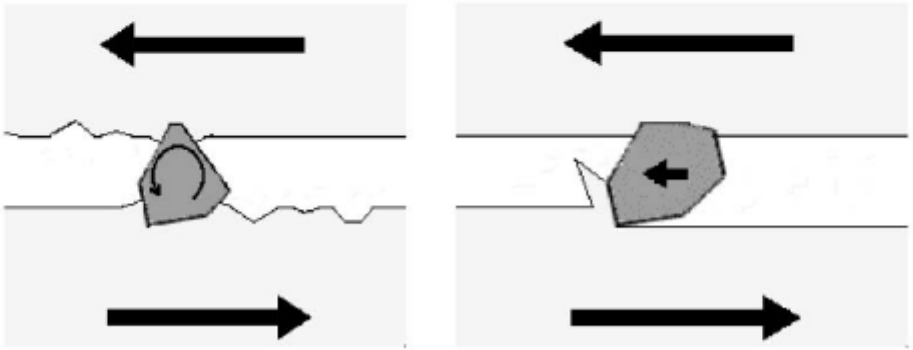
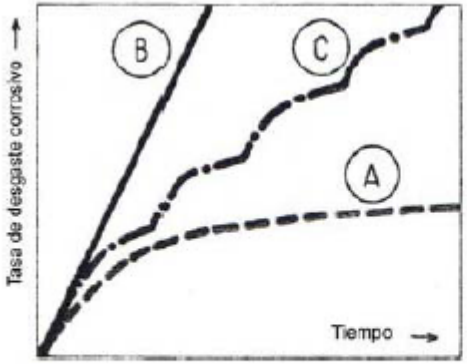


Figura 1.11: Ejemplo de desgaste abrasivo entre tres cuerpos

Corrosivo

(por corrosión o herrumbre)

Es consecuencia de un aceite oxidado o de la contaminación de éste con agua o con ácidos del proceso o del medio ambiente. La herrumbre (en materiales ferrosos) y la corrosión ácida (en materiales blandos, como el Babbitt) pueden constituir un problema serio en una turbina de vapor, un motor de combustión interna o en cualquier máquina expuesta a la humedad.



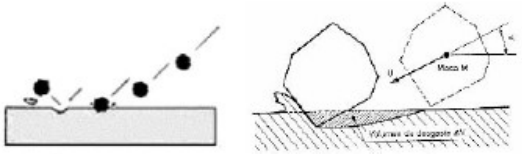
A. Formación de una capa protectora coherente.

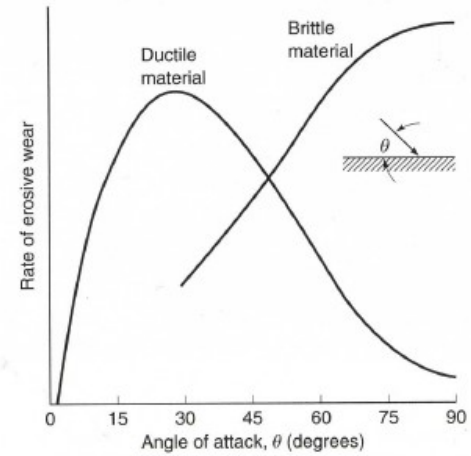
B. Ausencia del film protector.

C. Desgaste *"a rupturas"*.

Figura 1.12: Tendencias comparativas del desgaste corrosivo en el tiempo

Erosivo



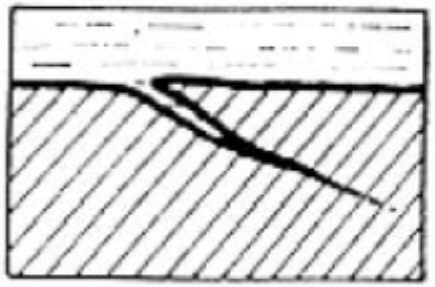


Es causado por un fluido a alta presión y con particulas sólidas en suspensión, las cuales al impactar sobre las superficies arrancan material. La pérdida de material puede ser significativa, provocando roturas por fatiga. También se puede presentar como consecuencia del empleo de un aceite de viscosidad mayor que la requerida.

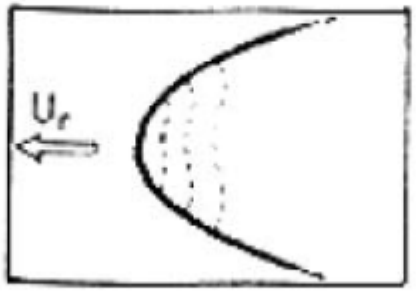
El exceso de viscosidad hace que el aceite al circular entre dos superficies, entre las cuales hay una tolerancia específica, trate de pulir o emparejar las irregularidades más sobresalientes. Este es el tipo de desgaste que se presenta cuando en el período inicial de la pucsta en marcha de un equipo nuevo se utiliza un aceite de una viscosidad mayor que la requerida para una operación normal.

Por fatiga superficial

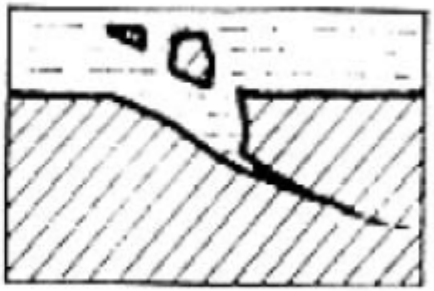
Se presenta como consecuencia de los esfuerzos cíclicos de tensión, compresión y esfuerzo cortante sobre una superficie, los cuales dan como resultado grietas profundas de fatiga que causan finalmente la aparición de picaduras y de escamas. Se presenta principalmente en los mecanismos en donde intervienen el movimiento por rodadura, como es el caso de las pistas de los rodamientos, flancos de los dientes de los engranajes y superficies de las levas, entre otros. Este tipo de desgaste se presenta inexorablemenle con el tiempo.



Fisura inicial.



Vista superior de la fisura.

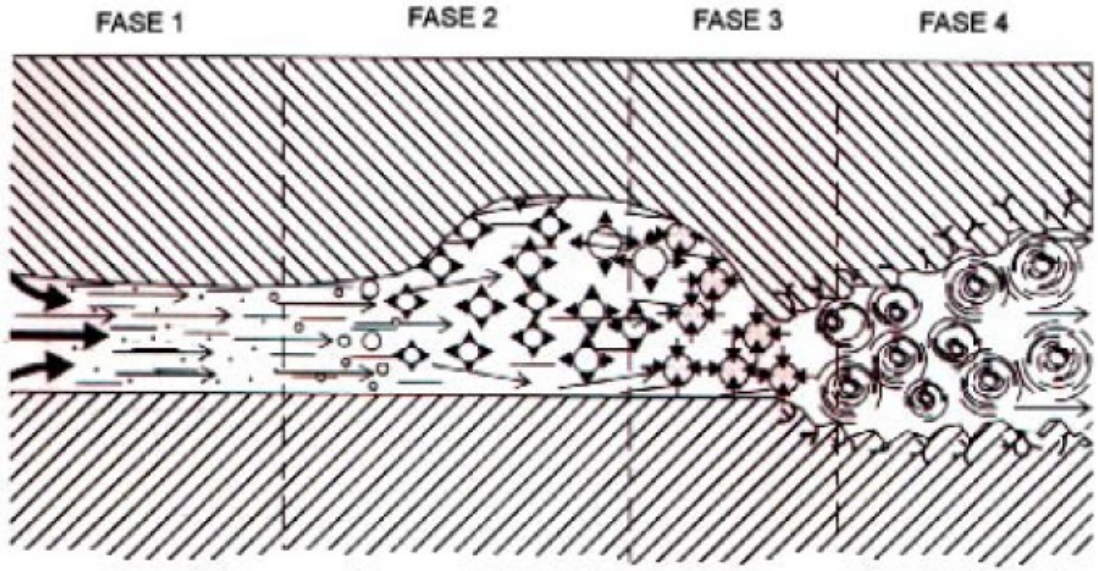


Cráter final.

Por cavitacion

Cuando el aceite fluye a traves de una region donde la presion es menor que la de su presión de vapor, hierve y forma burbujas de vapor. Estas burbujas son transportadas por el aceite hasta llegar a una región de mayor presión, donde el vapor regresa al estado líquido en forma súbita, *aplastándose* bruscamente las burbujas.

Este fenómeno se llama cavitación. Si las burbujas de vapor se encuentran cerca o en contacto con una superficie sólida cuando cambian de estado las fuerzas ejercidas por el aceite al aplastar la cavidad dejada por el vapor dan lugar a presiones localizadas muy altas, que ocasionan picaduras en dicha superficie. La cavitación generalmente va acompañada de ruido y



Por corrientes eléctricas

Se presenta como consecueneia del paso de corriente eléctrica a través de los elementos de una máquina, como en el caso de los rodamientos de un motor eléctrico, cuando la toma a tierra es defectuosa, o por corrientes parásitas en equipos rotatorios, como turbinas de vapor, de gas, hidraulicas y en compresores centrífugos.

En general los problemas ocasionados por el desgaste son:

- Mayor consumo de repuestos por aumento en las reparaciones y en el mantenimiento.
- Reducción en la producción por paros de maquinaria.
- Vida útil más corta de la maquinaria.
- En motores de combustion interna da lugar a pérdida de potencia, mayor consumo de combustible, etc.
- Posibilidad de accidentes ante el peligro de rotura de piezas al sobrepasar los límites permisibles de diseño.

Formas de reducir el desgaste

- Utilizando los lubricantes más apropiados para las diferentes condiciones de operación.
- Frecuencia de lubricación adecuada, con el fin de determinar los cambios de aceite y los reengrases correctos. Buenos programas de mantenimiento preventivo, incluyendo principalmente la limpieza y/o el cambio de los filtros de aire y de aceite.
- No sometiendo los equipos a condiciones diferentes a las de diseño.